74

KARLSRUHER REIHE TECHNOLOGIE UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB

MAXIMILIAN DEUBEL

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Building Information Modeling (BIM) in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten



Maximilian Deubel

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Building Information Modeling (BIM) in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten

Karlsruher Reihe Technologie und Management im Baubetrieb
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno (Hrsg.)
Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes (Hrsg.)

Heft 74

Das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) befasst sich in Forschung und Lehre mit dem gesamten Bereich des Baubetriebs von der Maschinen- und Verfahrenstechnik bis hin zum Management der Projekte, Facilities und Unternehmen.
Weitere Informationen und Kontakte unter www.tmb.kit.edu

Eine Übersicht der Forschungsberichte finden Sie am Ende des Buches.

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Building Information Modeling (BIM) in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten

von
Maximilian Deubel



Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von
Building Information Modeling (BIM) in der
Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs von
der KIT-Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) genehmigte Dissertation

von Dr.-Ing. Maximilian Deubel

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Mai 2020
Referent: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Patrick Schwerdtner

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu

Print on Demand 2021 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2363-8222
ISBN 978-3-7315-1034-5
DOI 10.5445/KSP/1000120175

Kurzfassung

Building Information Modeling (BIM) verbreitet sich zunehmend innerhalb der Bauwirtschaft. Häufig werden in diesem Zusammenhang verschiedene Vorteile von BIM beschrieben. BIM wird als Chance gesehen, Bauprojekte verlässlicher fertigzustellen und die Produktivität innerhalb der Branche zu erhöhen. Gleichzeitig werden Herausforderungen diskutiert, die die Einführung erschweren und die es zu lösen gilt. Weniger im Fokus dieser Überlegungen steht die Untersuchung der tatsächlichen Wirtschaftlichkeit von BIM. Zwar wird in vielen Publikationen von teils erheblichen Einsparungen berichtet, doch unter welchen Randbedingungen diese ermittelt wurden, bleibt häufig unklar. Ziel der Arbeit ist es daher, Aufwendungen und Nutzen von BIM bestimmbar zu machen, um eine transparente Entscheidungsgrundlage zu bieten. Ein Grund für die bestehende Intransparenz der Aufwendungen für und der Nutzen von BIM können uneinheitliche Begriffsauslegungen sein. Um dieser unbefriedigenden Situation entgegenzuwirken, hat sich die Verwendung sog. BIM-Anwendungsfälle (AWF) etabliert. Sie konkretisieren jeweils einzelne Teile der Methode BIM, wodurch in Summe eine eindeutigere Beschreibung und Abgrenzung möglich wird. Im Rahmen der Arbeit werden bestehende AWF zusammengetragen und vereinheitlicht. In Summe werden 36 AWF beschrieben, die die Ausgangsbasis zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit bilden. Die Eingangsgrößen eines jeden AWF bilden dessen Implementierungsaufwand und dessen zugehöriger Anwendungsaufwand. Aus der Anwendung des AWF entstehen verschiedene Nutzen, die erfasst und beschrieben, sowie um geeignete Indikatoren und Metriken zur Messung ergänzt werden. Zusätzlich werden die Abhängigkeiten der einzelnen AWF untereinander und unter Berücksichtigung der ihnen zugehörigen Projektphasen und Projektbeteiligten erarbeitet. Dadurch erhalten Anwender der Methode BIM eine Hilfestellung, welche AWF sie wann anwenden können. Im Ergebnis wird es durch die Erarbeitung der AWF und der Zuordnung der Aufwände und Nutzen möglich, Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einzelner AWF und in Summe über die Methode BIM zu erhalten.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is increasingly spreading within the construction industry. Various advantages of BIM are often described in this context. The method is seen as an opportunity to complete construction projects more reliably within given time, cost or quality targets and to increase productivity within the industry. At the same time, legal concerns or IT technical challenges that make the introduction more difficult and that need to be solved are discussed. Less in the focus of these discussions is the investigation of the actual profitability of BIM. Although many publications report considerable savings in some cases, it is often unclear under which conditions these savings were determined. The aim of the present work is therefore to determine the actual costs and benefits of BIM in order to provide a transparent basis for decision-making. One reason for the existing lack of transparency of the costs and benefits of BIM may be inconsistent interpretations of definitions. In order to counteract this unsatisfactory situation, the use of so-called BIM use cases (AWF) has become increasingly established. They each specify individual parts of the BIM method, which in sum makes a clearer description and delimitation possible. In the context of the present work, existing AWF are compiled and standardized. In total, 36 AWF are described, which form the basis for the investigation of economic efficiency. The input variables of each AWF form its implementation effort and the associated application effort. The application of the AWF results in various benefits which are recorded and described and supplemented by suitable indicators and metrics for measurement. In addition, the interdependencies of the individual AWF among themselves and under consideration of the project phases and project participants belonging to them are compiled. Thus, existing and future users of the method BIM receive assistance, which AWF they can use when. As a result, the development of the AWF and the allocation of costs and benefits makes it possible to obtain statements on the economic efficiency of individual AWF and on the BIM method as a whole.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Formel- und Variablenverzeichnis

Formeln

Variablen

$A_{Am(AWF)}$	Monetär bewerteter Anwendungsaufwand des AWF
$A_{Im(AWF)}$	Monetär bewerteter Implementierungsaufwand des AWF
$A_{Im(BIM)}$	Monetär bewerteter Implementierungsaufwand für BIM
A_m	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten)
$A_{mS(AWF)}$	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software pro AWF
$A_{mS(BIM)}$	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software
$A_{mS(BIM,2015)}$	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software im Jahr 2015
$A_{mS(BIM,2019)}$	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software im Jahr 2019
$A_{mS(Gesamt)}$	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für gesamte Software
$A_{mSH(BIM)}$	Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM Software und Hardware
A_t	In Zeiteinheit bewerteter Aufwand
A_x	In Einheit x bewerteter Aufwand
$A_{x(AWF)}$	In Einheit x bewerteter Aufwand des AWF
$A_{x(BIM)}$	In Einheit x bewerteter Aufwand von BIM
$A_{x(Kon)}$	In Einheit x bewerteter konventioneller Aufwand zur Projektbearbeitung (ohne BIM)
C_{mon}	Ausbildungsdauer für BIM in Monaten
E_m	Monetär bewerteter Ertrag

$F_{F(Modell)}$	Fertiggestellte Fläche im Modell in Flächeneinheit (z. B. m^2)
$F_{KP(BIM)}$	Prozentuales Fehlerkosteneinsparpotenzial von BIM
FK_V	Prozentualer Anteil der Fehlerkosten an V_m
G	Gewinn
$I_{S(BIM)}$	BIM-Softwarekosten Indexzahl
K	Kosten
Kap	Eingesetztes Kapital
$K_{(BIM)}$	Kosten für BIM
$K_{(Dir)}$	Direkte Kosten
$K_{(Ind)}$	Indirekte Kosten
$K_{P,mon}$	Monatliche Personalkosten
$K_{S(BIM)}$	BIM-Softwarekosten Kennzahl
L_m	Monetär bewertete Leistung
NAV_{AWF}	Nutzen-Aufwand-Verhältnis eines AWF
nAWF	Anzahl der mit $A_{mS(BIM)}$ verwendeten AWF
nEf	Einsatzmenge an Produktionsfaktoren
$N_{m(AWF)}$	Monetär bewerteter Nutzen des AWF
$N_{x(AWF)}$	In Einheit x bewerteter Nutzen des AWF
$Ø_{RG(BIM)}$	Durchschnittlicher gewichteter Reifegrad von BIM
P	Produktivität
$P_{BIMTeam}$	Produktivität des BIM-Teams
P_{Alt}	Produktivität Aktuell

P_G	Prozentualer Produktivitätsgewinn nach Ausbildung
P_{Neu}	Produktivität Neu
P_V	Prozentualer Produktivitätsverlust durch Ausbildung
R	Rentabilität
$R_{(BIM)}$	Rentabilität der BIM-Investition
RG_n	Prozentualer Anteil von Reifegrad auf Level n
ROI	Return on Investment
ROI_F	Return on Investment im ersten Jahr der Investition
Rw	Arbeitsergebnis
TP	Projektlaufzeit
TP_a	Zeitpunkt des Projektanfangs
TP_e	Zeitpunkt des Projektendes
V_m	Monetär bewertetes Projektvolumen
$V_{x(BIM)}$	Vorteil von BIM bewertet in Einheit x
W	Wirtschaftlichkeit
$W_{A(AWF)}$	Anwendungswirtschaftlichkeit eines AWF
$W_{A(BIM)}$	Anwendungswirtschaftlichkeit von BIM
$W_{G(AWF)}$	Gesamtwirtschaftlichkeit eines AWF
$W_{G(BIM)}$	Gesamtwirtschaftlichkeit von BIM

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional (Länge x Breite x Höhe)
4D	3D + Zeitinformationen
5D	4D + Kosteninformationen
AHO	Ausschusses der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V.
AIA	Auftraggeber-Informations-Anforderungen
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
AR	Augmented Reality
ASCE	American Society of Civil Engineers
AWF	BIM-Anwendungsfall
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BASE	Bielefeld Academic Search
BDS	Building Description System
BGF	Brutto-Grundfläche
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BRM	Benefit Realisation Management
CAD	Computer Aided Design
CDE	Common Data Environment

CIC	Computer Integrated Construction Research Group der Pennsylvania State University
CMM	Capability Maturity Model
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
I-CMM	Interacitve Capability Maturity Model
IT	Informationstechnologie
KPI	Key Performance Indicator
KPO	Key Performance Outcome
KVK	Karlsruher Virtueller Katalog
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LPh	HOAI Leistungsphase
NAV	Nutzen-Aufwand-Verhältnis
NBIMS-US	National BIM Standard - United States
NU	Nachunternehmer
QTO	Quantity Take Off
RFI	Request for Information
ROI	Return on Investment
SLAM	Success Level Assessment Model
SSoT	Single Source of Truth
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VDC	Virtual Design and Construction
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtual Reality

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

In den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts übernahmen große Luft- und Raumfahrtunternehmen eine Vorreiterrolle in der computergestützten 3D-Modellierung. Dies veränderte die Art und Weise, wie Flugzeuge konstruiert und gebaut wurden und trug dazu bei, die Produktivität des Sektors deutlich zu steigern. In der Baubranche steht die flächendeckende Einführung einer solchen integrierten Plattform, die Planung, Bau, Betrieb und Wartung von Projekten umfasst, jedoch noch aus. (Vgl. *Agarwal et al.*, 2016, S. 6) Allerdings wird von vielen Beteiligten der Baubranche **Building Information Modeling** (BIM) als diese integrierte Plattform und damit oftmals als Schlüssel zur Hebung der Produktivitätssteigerungspotenziale oder zumindest als wesentlicher Ermöglicher dazu betrachtet.

Die Produktivitätssteigerung wird häufig damit begründet, dass durch BIM Planungsentscheidungen früher getroffen würden, wodurch Änderungskosten geringer ausfallen können. Diese Ideen gehen zurück auf *Paulson* (1976), der gemäß Abbildung 1 die abnehmende Beeinflussbarkeit (decreasing level of influence) in Abhängigkeit der zunehmenden kumulierten Projektkosten (increasing cumulative cost of project) im zeitlichen Verlauf der Projektzeit grafisch darstellt.

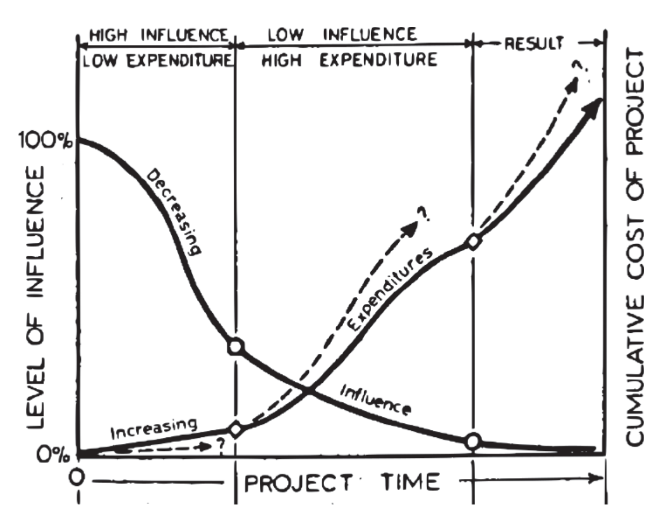


Abbildung 1: Kostenbeeinflussbarkeit in Abhängigkeit der Projektzeit (*Paulson*, 1976)

Bezogen auf BIM zeigt Abbildung 2 den auf den amerikanischen Architekten Patrick MacLeamy zurückgehenden prognostizierten Kostenvorteil von BIM in Form von reduzierten Änderungskosten durch frühzeitigere Planungsentscheidungen. Grundsätzlich ist dabei anzumerken, dass eine Aufwandsvorverlagerung und das frühzeitigere Treffen von Entscheidungen auch bei einer traditionellen Projektabwicklung und damit ohne BIM möglich sind (vgl. *Deubel* und *Haghsheno*, 2016, S. 65). Allerdings wird es nach *Liebich et al.* (2011, S. 22-24) durch das Arbeiten mit Gebäudedatenmodellen unumgänglich, frühzeitige Entscheidungen zu treffen und der Anwender somit durch BIM dazu gezwungen. Wie hoch ein solcher Kostenvorteil tatsächlich sein kann, und ob durch BIM lediglich Änderungskosten reduziert werden oder weitere Kosten im Rahmen der Planung und Realisierungsphase eingespart werden oder zusätzliche Kosten entstehen, ist nicht im Detail untersucht.

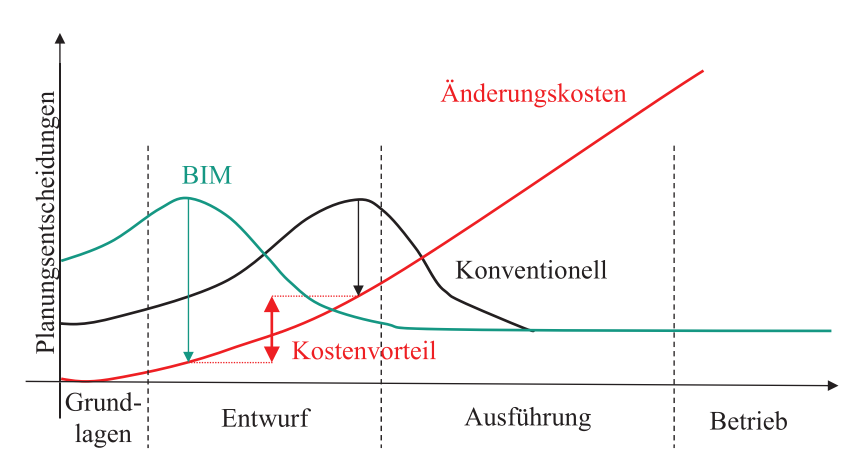


Abbildung 2: Kostenvorteil von BIM durch Vorverlagerung der Planungsentscheidungen (qualitative Darstellung) in Anlehnung an *Liebich et al.* (2011, S. 24)

Auf der anderen Seite werden in der Baubranche Produktivitätssteigerungen durch die in zunehmendem Maße Einzug haltende Digitalisierung erwartet. BIM wird dabei oftmals mit der Digitalisierung selbst gleichgesetzt (vgl. *Deubel* und *Haghsheno*, 2017, S. 6). So prognostiziert beispielsweise eine Studie das Wachstum für die deutsche Bauwirtschaft im Jahr 2020 auf 3,2 % und schreibt BIM die Möglichkeit zu, dieses Wachstum auf etwa 6 % heben zu können. (Vgl. *Niederdrenk* und *Seemann*, 2018, S. 21). Demnach verfüge BIM über das Potenzial, die Wachstumsrate der Baubranche zu verdoppeln. Dabei kann die Digitalisierung Segen (wie bspw. die angesprochene Produktivitätssteigerung oder Entwicklung neuer Geschäftsfelder) und Fluch (bspw.

Gefahr des Wegfalls von Arbeitsplätzen[1] oder hohe Anfälligkeit gegenüber Angriffen über das Internet[2] [3]) zugleich sein.

Allerdings wäre es falsch, BIM mit der Digitalisierung gleichzusetzen. Vielmehr setzt sich die Digitalisierung der Baubranche aus unterschiedlichen Aspekten zusammen, bei denen BIM als ein wesentlicher Baustein verstanden werden kann. BIM unterstützt eine tiefergehende Digitalisierung, wie beispielsweise die Nutzbarmachung von künstlicher Intelligenz in Planungsprozessen, oder ermöglicht die durch Augmented Reality (engl. erweiterte Realität) gestützte Ausführung von Montageschritten auf der Baustelle (vgl. dazu auch Kapitel 2.3).

Darüber hinaus besteht BIM selbst aus einer Vielzahl unterschiedlicher sogenannter BIM-Anwendungsfälle (AWF), die sich gegenseitig beeinflussen, voneinander abhängen und bisher nicht tiefergehend untersucht sind.

Daher wird mit dieser Arbeit ein Beitrag dazu geleistet, genauer herauszufinden, was bei BIM bzw. den einzelnen BIM-Anwendungsfällen gemessen werden kann, was gemessen werden sollte und was möglicherweise nicht gemessen werden kann, um Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von BIM in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten zu treffen.

Die Motivation für die Arbeit leitet sich somit aus mehreren Überlegungen ab, die im Nachfolgenden kurz erläutert werden. Der wesentliche Treiber ist der Umstand, dass sich die Bauwirtschaft aktuell in einem Umbruch befindet, der mit der angesprochenen einziehenden Digitalisierung begründet werden kann.

[1] 2013 kommt eine Studie zu dem Ergebnis, dass beispielsweise die Wahrscheinlichkeit für den Wegfall des Arbeitsplatzes durch Computerisierung für einen Bauleiter 1,9 %, für einen Kalkulator hingegen 57 % beträgt (vgl. *Frey* und *Osborne* 2017, S. 58–63).

[2] „Wenn Hacker die Daten in der BIM-Cloud attackieren und unbrauchbar machen, vernichten sie die Arbeit mehrerer Jahre schneller, als der Admin „BIM!“ rufen kann. BIM ohne Datensicherheit ist wie Selbstmord mit Ansage“ (*Karl* und *Spengler* 2018).

[3] „Hacker stehlen von französischem Bauunternehmen Pläne von Atomanlagen. Bei einer Cyber-Attacke auf das französische Bauunternehmen Ingérop erbeuten Hacker sensible Daten.“ titelt das Handelsblatt im November 2018 (vgl. *Frensch* 01.11.2018).

Für Entscheider in Unternehmen aber auch prinzipiell für jeden einzelnen Beteiligten stellt sich daher die Frage, auf welche Aktivitäten sie sich fokussieren bzw. in welche sie investieren sollten. Mit dem zu entwickelnden Modell im Rahmen dieser Arbeit, sollen Unternehmen Unterstützung erhalten, um zu entscheiden, welche Aktivitäten (bezogen auf BIM, somit welche BIM-Anwendungsfälle) für sie von Bedeutung sein können. Die Arbeit soll daher einen wichtigen Grundstein zur Ressourcenallokation in Unternehmen liefern.

Eine weitere Motivation beruht auf dem demografischen Wandel und dem daraus resultierenden Fachkräftemangel. Unternehmen sind – zumindest aktuell – stark ausgelastet und daher auf der Suche nach verbesserten oder neuen Methoden, um ihr Arbeitspensum auch weiterhin erfüllen zu können. Grundsätzlich müssen sie sich dazu die Frage stellen, wie sie ihre Produktivität, also „das mengenmäßige Verhältnis zwischen Output und Input des Produktionsprozesses“ erhöhen können (*Thommen et al.*, 2017, S. 46). Dazu kann das sog. ökonomische Prinzip herangezogen werden, das in drei Ausprägungen vorkommt (vgl. *Thommen et al.*, 2017, S. 46):

- Maximalprinzip: Möglichst hoher Output bei gegebenem Input
- Minimalprinzip: Vorgegebener Output bei möglichst geringem Input
- Optimalprinzip: Weder Input noch Output werden vorgegeben. Sie sollen so aufeinander abgestimmt sein, dass nach festgelegten Kriterien, das ökonomische Problem optimal gelöst wird.

Die Arbeit soll dazu beitragen, den Einfluss von BIM auf die Produktivität von Unternehmen besser bewerten und den jeweils benötigten Input und den resultierenden Output bei der Anwendung von BIM genauer bestimmen zu können.

Ein dritter Motivationspunkt basiert darauf, dass BIM bisher zwar vielfach definiert und beschrieben wurde, dennoch in teils sehr unterschiedlicher Art und Weise verstanden wird. Dem soll durch die Herausarbeitung der BIM-Anwendungsfälle in Kapitel 5 begegnet werden, um die gesamte Methode in kleinere und voneinander abgrenzbare Pakete unterteilen zu können.

Die abschließende Motivation ist die im Rahmen der Grundlagenrecherche identifizierte Forschungslücke. Es gibt zwar bestehende Untersuchungen zur

Wirtschaftlichkeit von BIM (vgl. Kapitel 3), diese basieren jedoch in überwiegender Form auf Umfragen oder Fallstudien zu ausgewählten Projekten, bei denen die genau verwendeten Anwendungsfälle in Teilen unklar, in Teilen überhaupt nicht berücksichtigt werden. Diese Forschungslücke soll geschlossen werden.

1.2 Stand der Forschung

Forschungsgegentand der Arbeit sind somit zwei wesentliche Komponenten: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und BIM. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen finden branchenübergreifend Anwendung und sind Teil der Betriebswirtschaftslehre. Entsprechend befassen sich bspw. *Vahs* und *Schäfer-Kunz* (2015), *Eichhorn* und *Merk* (2016), *Schierenbeck* und *Wöhle* (2016), *Wöhe et al.* (2016), *Olfert* und *Rahn* (2017), *Thommen et al.* (2017), *Weber et al.* (2018) oder *Bardmann* (2019) mit den theoretischen Grundlagen. Daneben gibt es eine Vielzahl an branchenspezifischen Publikationen und Untersuchungen, wie bspw. gesundheitsökonomische Evaluationen von *Schöffski* und *Graf von der Schulenburg* (2012), Wirtschaftlichkeitsanalysen für IT-Investitionen von *Schumann* (1993), *Hirschmeier* (2005) oder *Kubicek* und *Lofthouse* (2010) aber auch spezielle Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bezogen auf die Baubranche wie der „Leitfaden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Vorbereitung von Hochbaumaßnahmen des Bundes" (vgl. *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*, 2014). Die öffentliche Hand liefert weitere Hilfestellungen. So erteilen z. B. das *Bundesministerium der Finanzen* (2017), das *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur* (2013) oder das *Ministerium des Innern des Landes Brandenburg* (2012) entsprechende Anweisungen zu Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Eine spezielle Beschreibung zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM liegt nicht vor.

BIM ist branchenspezifisch und erste Veröffentlichungen zur Thematik gehen mit einem überwiegend softwareseitigen Schwerpunkt unter anderem. zurück auf *Engelbart* (1962), *Eastman et al.* (1974), *Teicholz* und *Ashley*

(1977) sowie *van Nederveen* und *Tolman* (1992). Häufig zitierte Publikationen aus Deutschland sind mit *Both* und *Koch* (2009), *Liebich et al.* (2011), *Both et al.* (2012), *Egger et al.* (2013) und *Borrmann et al.* (2015) erst deutlich später entstanden. Kapitel 2.1 beschäftigt sich tiefergehend mit der historischen Entwicklung von BIM. Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht jedoch nicht die softwareseitige Betrachtung, sondern die wirtschaftliche Untersuchung von BIM. Dazu werden im Verlauf zwei andere Teilgebiete von Bedeutung sein: Die bereits angesprochenen BIM-Anwendungsfälle sowie der Reifegrad. Intensiv mit AWF beschäftigt sich das *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011) der Pennsylvania State University, in dem u. a. auch *Kreider* und *Messner* (2013) tätig sind. Daneben liefert *Succar* (2015) umfassende Untersuchungen zu AWF. Im deutschsprachigen Raum sind im Zusammenhang mit AWF vor allem *Hausknecht* und *Liebich* (2016), *Baldwin* (2018) und *Deubel et al.* (2018) sowie im Hinblick auf die Beschreibung von BIM-Leistungen die *Bundesarchitektenkammer* (2017), *Bodden* (2017) und der *Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V.* (2019) zu nennen. Forschung im Zusammenhang mit dem Reifegrad geht zurück auf *Paulk et al.* (1993) und ist im Kontext von BIM ein wesentlicher Bestandteil der Arbeiten des *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance* (2007), *Succar* (2010), *Center for Integrated Facility Management* (2017), *Dakhil* (2017) und in Deutschland von *Borrmann et al.* (2017). Andere deutschsprachige Autoren beziehen sich i.d.R. auf das BIM Maturity Model (vgl. Kapitel 4.3). Weitere Reifegradmodelle finden selten Beachtung. Einen deutschsprachigen Vergleich der Reifegradmodelle liefern *Deubel* und *Halter* (2019).

Erste Untersuchungen zu Kosten bzw. Nutzen von BIM (und damit der Wirtschaftlichkeit, vgl. Kapitel 2.5) sind allerdings schon deutlich älter und stammen von *Koo* und *Fischer* (1998), die sich mit den Potenzialen der 4D-Planung auseinandersetzten. Weitere relevante Arbeiten im Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit von BIM stammen u. a. von *Suermann* (2009), *Becerik-Gerber* und *Rice* (2010), *Giel* und *Issa* (2011), *Barlish* (2011), *Succar et al.* (2012), *Bryde et al.* (2013), *Li et al.* (2014), *Sanchez et al.* (2016), *Won* und *Ghang* (2016), *Vass* (2017), *Zhang et al.* (2018) sowie *Franz* und *Messner* (2019). Kapitel 3 thematisiert bestehende Arbeiten detailliert.

Wesentliche Anknüpfungspunkte zu dieser Arbeit liefern:

Bilal Succar, der sich ebenfalls mit dem Reifegrad und AWF beschäftigt, um die Leistungsfähigkeit von BIM zu untersuchen, allerdings weniger den Blick auf die konkrete Erfassung der Kosten und Nutzen von BIM für Unternehmen legt und viele Gedanken nur theoretisch beschreibt anstatt sie auch umzusetzen.

Adriana Sanchez, die umfassend theoretische Nutzen von BIM recherchiert hat und diese in Abhängigkeit der Projektrolle und der angewandten AWF darstellt sowie Vorschläge zur Messung des jeweiligen Nutzens liefert. Allerdings beschäftigt sie sich nur in geringem Maße mit der Kosten- bzw. Aufwandsseite und betrachtet zudem nicht die Abhängigkeiten einzelner AWF bei einer kombinierten Anwendung.

Jongsung Won und Ghang Lee, die den Modellgedanken liefern, die Abhängigkeiten der AWF untereinander zu berücksichtigen, die AWF selbst und deren Abhängigkeiten aber nur in begrenzter Form erarbeiten.

1.3 Ziel der Arbeit und Forschungsfragen

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Modells, mit dessen Hilfe einzelne BIM-Anwendungsfälle und deren kombinierte Anwendung hinsichtlich ihres Aufwandes (Implementierungsaufwand und Anwendungsaufwand) sowie des resultierenden Nutzens erfasst, analysiert und bewertet werden können. Durch das Modell erhalten Unternehmen eine Hilfestellung, ihre eigenen BIM-Aktivitäten zu messen und damit steuerbar zu machen. Im Ergebnis soll das Modell Auskunft darüber geben, ob beispielweise der Implementierungsaufwand in Form der Erhöhung des Reifegrads bezogen auf die Anwendung eines AWF durch den daraus entstehenden Nutzen gerechtfertigt werden kann. Gleichzeitig soll das Modell künftig mit Hilfe von Benchmarkwerten ermöglichen, dass einzelne AWF intern und unternehmensübergreifend miteinander verglichen werden können.

Zusammenfassend soll die Arbeit folgende neue Ergebnisse liefern:

- Übersicht und Bewertung bestehender Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von BIM.
- Übersicht und Bewertung bestehender Reifegradmodelle für BIM.
- Identifikation, Analyse und Kategorisierung von AWF in Abhängigkeit der Projektphasen- und Rollen.
- Sammlung der Implementierungsaufwände, Anwendungsaufwände und Nutzen bezogen auf einzelne AWF und Zuordnung zu diesen.
- Entwicklung geeigneter Ansätze zur Messung der Aufwände und Nutzen von AWF.
- Systematische Beschreibung und Erläuterung der Abhängigkeiten von Implementierungsaufwand, Anwendungsaufwand und Nutzen einzelner BIM-Anwendungsfälle in Form eines Modells.

Zur Erreichung der Ziele sollen die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden.

- **Forschungsfrage 1:**
  Welche Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von BIM gibt es und welche Verfahren werden zur Bewertung verwendet?

- **Forschungsfrage 2:**
  Welche AWF existieren und wie können AWF in Abhängigkeit der Projektphasen und -beteiligten unter Berücksichtigung ihrer Abhängigkeiten kategorisiert werden?

- **Forschungsfrage 3:**
  Wie können Aufwand und Nutzen einzelner AWF bestimmt und gemessen werden, um darauf aufbauend Aussagen über die Wirtschaftlichkeit treffen zu können?

1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau

Die vorgestellten Forschungsfragen werden unter Zuhilfenahme wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden beantwortet. Zunächst werden die Grundlagen zu BIM und zur Wirtschaftlichkeit erarbeitet und die wesentlichen Begriffe definiert.

Mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche werden im nächsten Schritt bestehende deutsch- und englischsprachige Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von BIM erfasst und in Form einer Metaanalyse ausgewertet, um einen Überblick der bereits erfassten Potenziale von BIM zu erhalten. Es zeigt sich, dass mit Hilfe von Reifegradmodellen bereits Verfahren existieren, um unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kriterien Aussagen zur Implementierung und Entwicklung von BIM in einem Unternehmen treffen zu können. Die Literaturrecherche sowie die Auswertung der Reifegradmodelle bilden das theoretische Fundament der Arbeit, wodurch Forschungsfrage 1 beantwortet wird.

Zur Beantwortung von Forschungsfrage 2 werden darauf aufbauend BIM-Anwendungsfälle identifiziert. Die Identifikation erfolgt zunächst durch eine Literaturrecherche und wird durch Experteninterviews sowie eine Umfrage ergänzt. Die Einzelergebnisse werden zusammengeführt und im Anschluss ein Kategorisierungssystem erarbeitet.

Forschungsfrage 3 untersucht, welche Aufwände und Nutzen bei der Anwendung von BIM grundsätzlich entstehen können. Diese werden, auf den Voruntersuchungen aufbauend, den einzelnen AWF zugeordnet und deren Abhängigkeiten untereinander ermittelt und beschrieben. Durch die Entwicklung geeigneter Messverfahren (Indikatoren und Metriken) können die Aufwände und Nutzen ermittelt werden. Im Ergebnis lassen sich projekt- oder unternehmensspezifische Aussagen über Aufwand und Nutzen einzelner AWF treffen, um die Wirtschaftlichkeit besser beurteilen zu können.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau der Arbeit zusammenfassend.

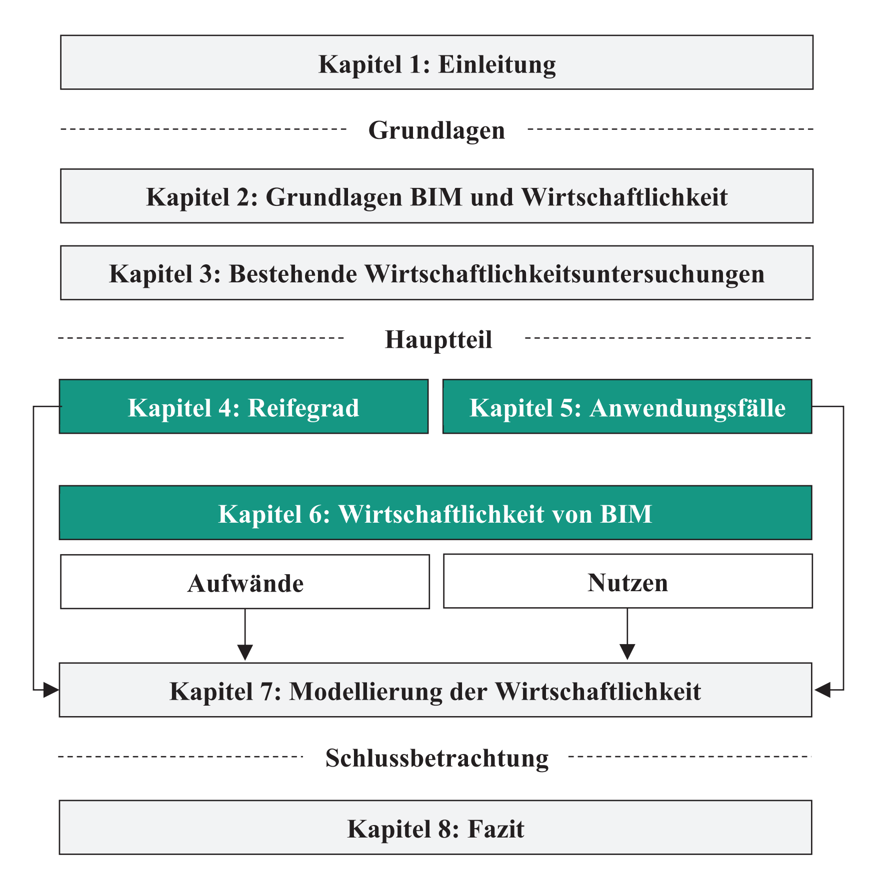


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen zu BIM und Wirtschaftlichkeit

2.1 Historische Entwicklung von BIM

Die Entstehung des Begriffs BIM geht auf mehrere Personen zurück und wird im folgenden Kapitel genauer anhand der wesentlichen Entwicklungen skizziert.

Die ersten Ansätze lassen sich auf Douglas Engelbart zurückführen. 1962 veröffentlichte er Ideen, wie die menschliche geistige Leistungsfähigkeit (intellecutal effectiveness of the individual human being) gesteigert werden kann. Dabei erkannte er, dass das vielversprechendste Werkzeug der Computer sei (tool that shows the greatest immediate promise). Auch wenn es sich dabei um ein allgemeines und somit branchenübergreifendes Werk handelt, enthält es konkrete Überlegungen in Bezug auf die Baubranche. Ein Ansatz war beispielsweise, dass Architekten dem Computer Parameter vorgeben und er daraus eigenständig eine Tragstruktur entwirft. (Vgl. *Engelbart*, 1962). Bereits ein Jahr später entwickelte Engelbart sein bekanntestes Produkt: den ersten Prototyp einer Computermaus. (Vgl. *MacKenzie*, 2013, S. 6 f.).

Maßgebliche Entwicklungen im Baubereich erfolgten dann durch Charles Eastmann. Er ist emeritierter Professor des Georgia Institute of Technology (vgl. *Eastman*, 2018). Bereits in den 1970er Jahren beschäftige er sich mit der computergestützten Speicherung und Bearbeitung von Gebäudedaten und entwickelte das Building Description System (BDS), um Kosten für die Planung, den Bau und den Betrieb computerbasiert und damit besser als auf der Basis von Zeichnungen bestimmen zu können (vgl. *Eastman et al.*, 1974). Das BDS kann als gedanklicher Prototyp eines Gebäudedatenmodells verstanden werden, wobei zur damaligen Zeit eine der größten Herausforderungen in der Entwicklung leistungsfähiger und zugleich erschwinglicher Hard-

ware lag. Allerdings trieb Eastman auch die softwareseitige Entwicklung voran und machte sich intensive Gedanken zur Beschreibung von Gebäudebauteilen in computerverständlicher Form und der Klassifizierung von Bauteilen (vgl. *Eastman et al.*, 1974). Er erkannte bereits damals, dass das Arbeiten mit Zeichnungen zwangsläufig ineffizient sein muss. Denn in Zeichnungen wird stets ein Objekt von mehreren Seiten (bspw. Grundriss und Ansicht) dargestellt und damit redundante Daten mehrfach vorgehalten. Zudem sind die Daten nicht verknüpft, so dass eine Änderung des Objekts mindestens doppelten Aufwand hervorruft, da es sowohl in Grundriss als auch in der Ansicht geändert werden muss.

Kurze Zeit nach Eastmans Überlegungen gründete Gábor Bojár im Jahr 1982 das Unternehmen Graphisoft in Budapest und brachte 1984 mit Archicad 1 die erste 3D-fähige CAD-Software für Architekten auf den Markt. Auch Steve Jobs wurde im selben Jahr auf der CEBIT darauf aufmerksam und stattete Graphisoft daraufhin mit Apple-Hardware aus. (Vgl. *Graphisoft*, 2018).

Bis zu diesem Zeitpunkt ging es überwiegend um die dreidimensionale Darstellung von Objekten mit Hilfe des Computers. Erst Paul Teicholz beschäftige sich in Stanford mit weiteren Möglichkeiten: In diesem Fall konkret mit der Erweiterung der 3D-Modelle um zeitliche Informationen hin zu 4D-Modellen. (Vgl. *Quirk*, 2012, S. 5).

Weitere relevante Forschungsarbeit stammt von van Nederveen und Tolman. Sie veröffentlichten 1992 zum ersten Mal den Begriff des Building Information Models, wobei es schwerpunktmäßig um die Koordination unterschiedlicher Projektbeteiligter an der Arbeit mit Gebäudedatenmodellen ging. (Vgl. *van Nederveen* und *Tolman*, 1992).

Einen erneuten Schub erhielt die Thematik dann Ende der 1990er Jahre und im Jahr 2000 brachten Leonid Raiz und Iriwn Jungreis die Software Revit heraus. 2002 wurde die Software von Autodesk übernommen und seitdem verstärkt beworben. (*Quirk*, 2012, S. 6) Gleichzeitig brachte Autodesk im

Jahr 2002 als erster kommerzieller Softwareanbieter das Whitepaper[1] Building Information Modeling heraus, was zu einer starken Verbreitung des Begriffs BIM, insbesondere im Zusammenhang mit Revit als sogenannter BIM-Software, geführt hat (vgl. *Autodesk*, 2002). Abbildung 4 zeigt die wesentlichen Wegbereiter zusammenfassend.



Abbildung 4: Bedeutende Wegbereiter (v.l.n.r.): D. Engelbart, C. Eastman, G. Bojár, P. Teicholz und L. Raiz

Seitdem ist eine Vielzahl neuer Entwicklungen entstanden. Mittlerweile gibt es unzählige Softwareprodukte aber auch Forschung, Entwicklung und die Verbreitung in der Praxis nimmt stetig zu.[2]

Abschließend belegt eine Auswertung von Google Trends zum Suchbegriff „Building Information Modeling“, die in Abbildung 5 dargestellt ist, das gesteigerte Interesse[3] an der Thematik. Während zu Beginn der Auswertung die Anzahl der Anfragen in Deutschland und weltweit etwa gleich groß war, ist

---

[1] Das *Gabler Wirtschaftslexikon* (2018b) definiert White Paper als „Sammlung von Ratschlägen und Empfehlungen zu einem bestimmten Vorgehen. […] Sachverhalte werden objektiv formuliert, dem Leser kann ein White Paper somit als Entscheidungshilfe dienen oder eine Lösung oder Erklärung liefern.“

[2] Dies wird durch die Ergebnisse mehrerer Abschlussarbeiten, die durch den Verfasser dieser Arbeit betreut wurden, belegt: Christian Nothstein (2015): Analyse aktueller Softwarelösungen; Klaudia Härzer (2016): Recherche der spanischsprachigen Literatur zu Building Information
Modeling; Jan Heintz (2016): Entwicklungsstand des Building Information Modelings im internationalen Vergleich; Adrian Avancini Tjaden (2017): Forschungsstand von Building Information Modeling im deutschsprachigen Raum; Sandra Daub (2018): Literature research on the costs and benefits of the application of Building Information Modeling

[3] Interesse: Die Werte geben das Suchinteresse relativ zum höchsten Punkt im Diagramm für Deutschland und weltweit im Zeitraum von Januar 2004 bis Juni 2019 an. Der Wert 100 steht für die höchste Beliebtheit des Suchbegriffs. Der Wert 50 bedeutet, dass der Begriff halb so beliebt ist. (Vgl. *Google Trends* 2019).

das weltweite Interesse zunächst deutlich gestiegen, bevor Anfragen aus Deutschland ab etwa dem Jahr 2015 deutlich zunahmen. Das höchste Interesse (Wert 100) wurde weltweit im Februar 2018 und in Deutschland im April 2019 erreicht.

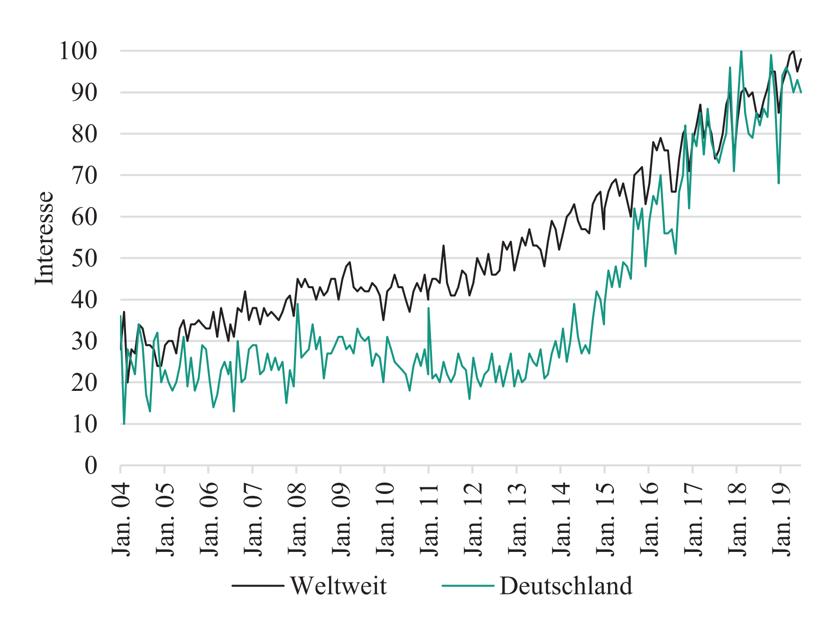


Abbildung 5: Building Information Modeling Suchanfragen im zeitlichen Verlauf gemäß *Google Trends* (2019)

2.2 Begriffsdefinitionen zu BIM

Im vorherigen Kapitel wurde ersichtlich, dass die Entwicklung von BIM eng mit der Entwicklung von Softwareprodukten verbunden ist. Allerdings gibt es keine einheitliche Definition dafür, was unter BIM genau zu verstehen ist und die Bandbreite an verwendeten Definitionen für BIM ist groß. Daher wird in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über unterschiedliche Begriffsauslegungen gegeben und die Definition von BIM für diese Arbeit herausgearbeitet.

Eine weit verbreitete Definition ist die des National BIM Standard-United States (NBIMS-US) vom US-amerikanischen National Institute of Building Sciences und der buildingSMART alliance. Demnach ist BIM „a digital representation of physical und functional characteristics of a facility. As such, it serves as a shared knowledge resource for information about a facility, forming a reliable basis for decisions during its life cycle from inception onward."[4] (*National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance*, 2015a) Daraus wird ersichtlich, dass der Fokus dieser Sicht auf BIM auf der Darstellung der physischen und funktionalen Eigenschaften des Bauwerks im Hinblick auf den gesamten Lebenszyklus liegt und somit eher als Building Information Model statt als der Prozess der Modellerstellung im Sinne von Building Information Modeling verstanden werden kann.

In Deutschland hat sich eine andere Definition verbreitet, die mehr auf die Erstellung und das Arbeiten mit den Modellen abzielt, anstatt die Darstellung von Informationen in den Mittelpunkt zu stellen. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bezeichnet BIM als „eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden." (*Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*, 2015, S. 4) Diese Definition ist damit umfassender als die zuvor genannte amerikanische Definition. Sie bezieht sich ebenfalls auf den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks, wird allerdings um den Zusatz der transparenten Kommunikation ergänzt und erweitert den Zweck der Datensammlung um den Austausch zwischen und die weitere Bearbeitung durch die Beteiligten.

Dennoch verwenden beide Quellen (und haben somit gemeinsam), dass sie unter dem Akronym BIM die auch in dieser Arbeit verwendete Formulierung „Building Information Modeling" verstehen, wodurch genau genommen eine

[4] Deutsche Übersetzung: Eine digitale Darstellung der physischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks. Als solche dient sie als gemeinsame Wissensressource für Informationen zum Bauwerk und bildet eine verlässliche Grundlage für Entscheidungen über den gesamten Lebenszyklus.

Unstimmigkeit entsteht: Während NBIMS-US eher vom Building Information Model spricht, legt das BMVI den Fokus auf das Arbeiten mit den Modellen im Sinne von Building Information Modeling.

Zudem verwenden beide Definitionen zwar den Begriff „building“[5] im Akronym, erweitern ihn aber in ihren Definitionen. Der NBIMS-US spricht von „facility“[6] und das BMVI übersetzt „building“ mit Bauwerk. Der Begriff Bauwerk ist umfassender als „building“ im Sinne von Gebäude. Beispielsweise definiert die Landesbauordnung für Baden-Württemberg 2010 in §2 Abs. 1 S. 1: „Bauliche Anlagen sind unmittelbar mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen.“ Und präzisiert in §2 Abs. 2 den Begriff Gebäude wie folgt: „Gebäude sind selbständig benutzbare, überdeckte bauliche Anlagen, die von Menschen betreten werden können und geeignet sind, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen.“

Somit kann festgehalten werden, dass die Definition nach BMVI einen umfassenderen Anwendungsbereich für BIM sieht als es der Begriff „building“ zunächst erwarten lässt, während bei der Definition nach NBIMS-US unklar bleibt, ob sie BIM beispielsweise auch für Ingenieur-, Infrastruktur- oder Tiefbau-Bauwerke vorsieht. Vermutlich liegt darin der Umstand begründet, dass auch in Deutschland im Zusammenhang mit BIM häufig von der Gebäudedatenmodellierung oder dem Gebäudedatenmodell gesprochen wird, wohingegen die korrektere deutsche Übersetzung von Building Information Modeling die Bauwerksinformationsmodellierung ist. Aufgrund dieser Tatsache wird daher in der vorliegenden Arbeit in Abhängigkeit der verwendeten Quellen auch der Begriff Gebäude verwendet, obwohl es sich dabei nur um eine Teilmenge von Bauwerk handelt. Gemeint ist jedoch immer die Definition im Sinne von Bauwerk.

Dieses Verständnis teilt das Deutsche Institut für Normung und definiert Bauwerksinformationsmodellierung als „Benutzung von gemeinsam genutzter

---

[5] Das *Cambridge Dictionary* (2018a) definiert building als “a structure with walls and a roof, such as a house or factory”.

[6] Das *Cambridge Dictionary* (2018b) definiert facility als “a place, especially including building, where a particular activity happens”.

digitaler Repräsentanz eines Bauwerks (inkl. Gebäude und Infrastrukturbauwerke, usw.), um die Prozesse der Bauplanung, der Baukonstruktion und des Bauwerksbetriebs zu erleichtern und eine verlässliche Entscheidungsgrundlage bereitzustellen“ und merkt an, dass „die Abkürzung BIM […] auch für die digitale Repräsentanz der physischen und funktionellen Charakteristika des Bauwerks und der Bautätigkeit“ steht (*DIN EN ISO* 29481-1, 2018, S. 7).[7]

Ein weiterer Gedanke von BIM ist, dass die Informationen des jeweiligen Bauwerks zentral zur gemeinschaftlichen Nutzung bereitgestellt werden (vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 4). Diese VDI Richtlinie ist darüber hinaus von Relevanz, da sie den Begriff „Information“ präzisiert bzw. gegenüber den bisher vorgestellten Definitionen, die unter Information überwiegend die physischen Bauwerksinformationen verstehen, erweitert. Denn das „Bauwerksmodell ist das primäre Werkzeug, das die Arbeitsweise unterstützt und der Verwaltung von Informationen dient (z. B. Zeit, Kosten, Nutzungsdaten).“ (*VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 4). Dadurch wird der Umfang von BIM nochmal erweitert, denn es gibt nicht nur die reinen Bauwerksmodelle mit den physischen Informationen über das Bauwerk selbst, sondern diese Modelle werden dazu verwendet, um die Zusammenarbeit zu erleichtern. Zudem werden explizit die Begriffe Zeit, Kosten und Nutzungsdaten genannt.

In den meisten Literaturquellen hat sich dafür eine konkrete Modellbezeichnung durchgesetzt. Sofern mindestens Geometriedaten des Bauwerks modelliert werden, spricht man von einem 3D-Modell. Werden diese 3D-Informationen um Zeitinformationen ergänzt, wird dieses als 4D-Modell bezeichnet. Bei zusätzlichen Kosteninformationen ist die Rede von einem 5D-Modell und bei der Ergänzung um Nutzungsdaten handelt es sich häufig um die Ergänzung hin zu einem 6D-Modell. In der vorliegenden Arbeit werden diese Unterscheidungen nicht fortgeführt, da sämtliche Informationen über

---

[7] DIN EN ISO 29481-1 übersetzt Bauwerksinformationsmodellierung mit Building Information Modelling. Dabei handelt es sich um die Schreibweise im britischen Englisch. Im amerikanischen Englisch wird Modeling mit einem l geschrieben. Diese Version wird auch in dieser Arbeit verwendet.

ein Bauwerk berücksichtigt werden sollen. Eine Differenzierung der Informationen hinsichtlich der vorgestellten 3D, 4D, 5D oder 6D-Informationen ist dazu nicht notwendig.

Die erwähnte VDI-Richtlinie ist aus einem weiteren Grund bedeutsam. Dort heißt es: „BIM ist kein Softwarepaket, sondern eine Arbeitsmethode, die sowohl die Projektsteuerung als auch die Zusammenarbeit in allen Lebensphasen eines Bauwerks erleichtert“ (*VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 4). Es erfolgt dadurch eine klare Abgrenzung. BIM ist nicht als Software zu verstehen, sondern als eine Arbeitsmethode. Diese Ansicht liegt auch den zuvor zitierten Definitionen zugrunde. Der Begriff Building Information Modeling wird daher gemäß nachfolgender Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1: Begriffsverwendung BIM , eigene Darstellung basierend auf *Hausknecht* und *Liebich* (2016, S. 49)

Englischer Begriff	Deutscher Begriff	Benennung in der Arbeit
Building Information Modeling	Bauwerks-informations-modellierung	BIM oder BIM-Methode
Building Information Model	Bauwerks-informations-modell	BIM-Modell, Bauwerksmodell oder Gebäudedatenmodell
BIM authoring/ evaluation tool	BIM-Software	BIM-Software

Abbildung 6 verdeutlicht, dass in der Praxis mit dem Begriff BIM häufig nur das reine BIM-Werkzeug, also bspw. eine Software in Verbindung gebracht bzw. wahrgenommen wird, wohingegen BIM im Sinne dieser Arbeit (Building Information Modeling) weit mehr umfasst.

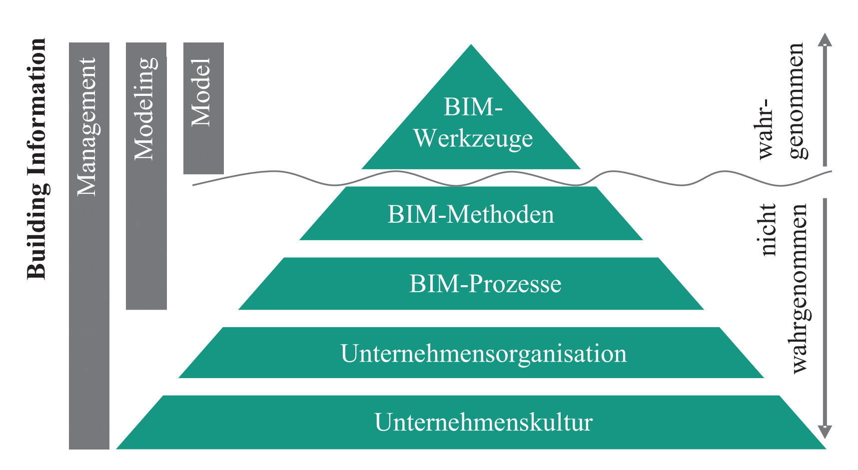


Abbildung 6: BIM-Pyramidenach *Krämer* (2015, S. 375)

Dabei ist anzumerken, dass unter Bauwerksinformationsmodellierung nicht nur die reine Modellierung (im Sinne von Erstellung der Informationen) mit Hilfe von BIM-Software verstanden wird, sondern gemäß *DIN EN ISO* 29481-1, 2018, S. 7 auch die Benutzung dieser Informationen.

Die Definition von BIM für diese Arbeit lautet:

> *Building Information Modeling (BIM) ist die Erstellung und Verwendung von Informationen eines Bauwerks in Form von digitalen Modellen mit Hilfe von Software, um sämtliche Prozesse des Bauwerkslebenszyklus selbst und die Prozesse der Projektbeteiligten sowie deren Kommunikation untereinander zu verbessern.*

Es wird deutlich, dass der Begriff Modell eine zentrale Rolle im Zusammenhang mit BIM spielt (vgl. *Huhnt*, 2018, S. 438). Nach *Stachowiak* (1973, S. 131-133) haben Modelle drei Hauptmerkmale: Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal und pragmatisches Merkmal. *Huhnt* (2018, S. 438) präzisiert diese Merkmale im Zusammenhang mit BIM:

- Abbildungsmerkmal:
  Ein Modell ist ein Abbild und hat ein Vorbild.
- Verkürzungsmerkmal:
  Ein Modell beschreibt ausgewählte und nicht alle Aspekte seines Vorbilds.
- Pragmatisches Merkmal:
  Ein Modell ist durch Pragmatismus geprägt. „Modelle sind nicht nur Modelle von etwas. Sie sind auch Modelle für jemanden […] und sie sind schließlich Modelle zu einem bestimmten Zweck" (*Stachowiak*, 1973, S. 133).

Dieser Zweck in Form der Erzielung eines bestimmten Ergebnisses kann als Ziel eines BIM-Anwendungsfalls bezeichnet werden. In englischsprachigen Publikationen wird dafür häufig der Begriff "BIM Use", „BIM Case", „Use Case" oder „Model Use" verwendet, wobei die zutreffendste Bezeichnung strittig ist. Das *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 123) und *Kreider* und *Messner* (2013, S. 6) definieren „BIM Use" als „a method of applying Building Information Modeling during a facility's lifecycle to achieve one or more specific objectives." [8] Allerdings ändern *Kreider* und *Messner* (2015, S. 433 f.) die Bezeichnung später auf „Model Use" und definieren diesen als „a method of applying modeling during a facility's life-cycle to achieve a specific objective." [9] Unter „Model Use" kann demnach die konkrete Modellierung und unter „BIM Use" ein nicht näher definierter Teil von BIM verstanden werden. Tiefer setzt sich *Succar* (2015) mit den unterschiedlichen Bezeichnungen auseinander und definiert „Model Uses" als „the intended or expected project deliverables from generating, collaborating-on and linking 3D models to external databases". [10] *Succar et al.* (2016, S. 46) halten fest, dass „BIM Use" und „Model Use" zwar innerhalb der Baubranche synonym verwendet werden, betonen aber dass „Model Use"

[8] Deutsche Übersetzung: Eine Methode der Anwendung von BIM während des Bauwerkslebenszyklus, um ein oder mehrere bestimmte Ziele zu erreichen.

[9] Deutsche Übersetzung: Eine Methode der Anwendung der Modellierung während des Bauwerkslebenszyklus, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

[10] Deutsche Übersetzung: Die beabsichtigten oder erwarteten Projektergebnisse, die sich aus der Erstellung, Zusammenarbeit und Verknüpfung von 3D Modellen mit externen Datenbanken ergeben.

die zutreffendere Bezeichnung sei. Sie begründen das im Wesentlichen damit, dass durch die Bezeichnung „Model Use“ und die damit verbundene Loslösung vom Begriff BIM eine branchenübergreifende Begriffsverwendung und Bezeichnung einzelner AWF möglich werde. Darüber hinaus sei der Begriff Model mit anderen, im Zusammenhang mit BIM, häufig verwendeten Begriffen wie z. B. „Model View Definition“ semantisch verbunden. Wichtiger als die Entscheidung, ob „BIM Use“ oder „Model Use“ verwendet wird, ist jedoch zum einen, dass die einmal getroffene Entscheidung stringent weiterverwendet wird und zum anderen, dass zwischen den „Uses“ selbst und den aus ihrer Anwendung resultierenden Ergebnissen („Model-based Deliverables“) unterschieden wird (vgl. *Succar et al.*, 2016, S. 47). Beispielsweise liefert der „Model Use“ Kollisionskontrolle („Clash Detection“) einen Kollisionsbericht („Clash Detection Report“), der nicht mit dem eigentlichen „Model Use“ verwechselt werden darf. Ein „Model Use“ selbst beschreibt folglich immer die Anwendung einer bestimmten Methode bzw. Teils von BIM mit dem Zweck, ein bestimmtes Ziel („Model-based Deliverables“) zu erreichen.

In Deutschland findet sich bisher keine allgemein anerkannte Definition für einen BIM-Anwendungsfall. Dennoch findet der Begriff BIM-Anwendungsfall in zahlreichen Publikationen Verwendung. Das führt dazu, dass der Begriff unterschiedlich verstanden wird und vorgestellte BIM-Anwendungsfälle sich zum Teil ähneln, doppeln oder auch widersprüchlich sind. Ein BIM-Anwendungsfall wurde daher von *Haghsheno* und *Deubel* (2017, S. 61) zunächst als „[…] der jeweilige Zweck, für den Daten und Informationen aus einem digitalen Modell des Bauwerks erstellt und verwendet werden“ definiert. Da Daten nicht nur aus einem Modell erstellt und verwendet werden, sondern auch für dieses modelliert werden, erfolgte eine Anpassung der Definition: „BIM-Anwendungsfälle beschreiben den Zweck, für den Daten und Informationen aus oder in einem BIM-Modell erstellt und verwendet werden“ (*Deubel et al.*, 2018, S. 296). Diese Definition entspricht eher den „Model-based Deliverables“ im Sinne von Succar und damit nicht dessen Definition von „Model Use“. Diese Auffassung teilt der Verband Deutscher Ingenieure (VDI) und definiert BIM-Anwendung als: „Durchführung eines spezifischen Prozesses oder eines Arbeitsschritts unter Anwendung der BIM-

Methode“ und ergänzt „BIM-Anwendungen stellen die Konkretisierungen der zuvor definierten BIM-Ziele dar und können als solche in den Auftraggeber-Informations-Anforderungen erfasst werden. In der internationalen Literatur werden BIM-Anwendungen auch als BIM-Uses oder BIM-Cases bezeichnet.“ (*VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 3)

Aus diesem Grund werden die vorgestellten Definitionen eines BIM-Anwendungsfalls aus *Haghsheno* und *Deubel* (2017) sowie *Deubel et al.* (2018) weiter präzisiert und der Begriff für diese Arbeit wie folgt definiert:

> *Ein BIM-Anwendungsfall (AWF) beschreibt die Erstellung und Verwendung von Daten und Informationen aus oder in einem Bauwerksmodell, um ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen.*
>
> *Die Summe der angewendeten AWF bildet das Anwendungsspektrum von BIM im jeweiligen Projekt oder Unternehmen.*

2.3 BIM als Baustein der Digitalisierung

In Kapitel 1.1 wurde bereits ausgeführt, dass BIM als ein wesentlicher Baustein der Digitalisierung betrachtet werden kann. Der genaue Zusammenhang wird in diesem Kapitel erläutert, um eine Übersicht über die Potenziale zu geben, die durch die Anwendung von BIM zusätzlich ermöglicht werden. Gleichzeitig erfolgt dadurch eine Abgrenzung der Thematik, da die nachfolgend angesprochenen Technologien bzw. deren einzelne Potenziale nicht weiter vertieft werden, sondern der Fokus ausschließlich auf BIM liegt.

Um diese Zusammenhänge verständlich zu beschreiben, wird zunächst auf den Begriff Digitalisierung eingegangen. Diese lässt sich in einem engeren und einem weiteren Sinne definieren. Unter Digitalisierung im engeren Sinne, und damit im informatischen, naturwissenschaftlichen und technischen Sinn, verstehen die meisten Publikationen die Überführung analoger in digitale Werte, um diese elektronisch übertragen, speichern oder verarbeiten zu können (vgl. *Mertens et al.*, 2017, S. 35). Vereinfachend gesagt, kann also

beispielsweise ein Papierdokument einer Bauzeichnung digitalisiert werden oder die Zeichnung selbst nur noch digital vorgehalten werden anstatt sie auf Papier zu drucken. In der englischen Sprache wird diese Digitalisierung im engeren Sinne als digitization bezeichnet (vgl. *Cambridge Dictionary*, 2019b) und bietet damit eine Begriffsdifferenzierung zu digitalization, während im Deutschen der Begriff synonym und damit zum Teil nicht eindeutig verwendet wird. Denn häufig wird unter Digitalisierung nicht die Definition im engeren Sinne, sondern eine umfassendere verstanden. Diese Definition im weiteren Sinne (im Englischen digitalization genannt) versteht unter Digitalisierung die Nutzbarmachung der digitalen und digitalisierten Daten und Dokumente für weitere Prozesse. Im Hinblick auf Unternehmen handelt es sich bei der Digitalisierung im weiteren Sinne somit um die digitale Transformation der Unternehmensprozesse, in Deutschland häufig mit dem Schlagwort „Industrie 4.0" bezeichnet. Das wesentliche Ziel dieser Transformation ist unter „Verwendung neuer digitaler Technologien […] Geschäftsverbesserungen zu ermöglichen […], den Betrieb eines Unternehmens effizienter zu gestalten oder neue/erweiterte Geschäftsmodelle zu etablieren" (*Wallmüller*, 2017, S. 22).

Das Arbeiten nach der Methode BIM bedeutet, die Informationen eines Bauwerks digital verfügbar zu machen und kann demnach zunächst als Digitalisierung im engeren Sinne verstanden werden. Gleichzeitig werden durch BIM aber auch bestehende Prozesse in Unternehmen verändert, ggf. effizienter gestaltet und neue Geschäftsmodelle ermöglicht. Daher wird BIM in dieser Arbeit als neue digitale Technologie im weiteren Sinne der Digitalisierung (digitalization) verstanden.

Bauwerksinformationen können entweder direkt im Rahmen der Planung digital erstellt oder nachträglich digitalisiert werden. Beides ist mit BIM-Software möglich. Allerdings können beispielsweise auch bestehende Bauwerke mit Laserscannern digital aufgemessen werden oder mit Hilfe von Sensorik digital nutzbare Daten generieren. Sobald die Daten digital vorhanden sind, können sie im Rahmen der Digitalisierung im weiteren Sinne durch BIM genutzt werden. Die dadurch möglich werdenden BIM-Anwendungsfälle werden in Kapitel 5 vorgestellt. Durch diese BIM-Modelle werden jedoch noch

weitere Technologien anwendbar. So machen die drei- oder mehrdimensionalen Modelle Informationen digital verfügbar. Sie ermöglichen nicht nur einen digitalen Zwilling, sondern stellen auch die Basis für Virtual und Augmented Reality, Crowdsourcing, Big Data und autonome Maschinen sowie selbstorganisierte Systeme im Internet der Dinge dar. Damit ist BIM eine Basistechnologie, deren Einführung weitere Anwendungen erst möglich macht. Abbildung 7 stellt diesen Zusammenhang in Form von Bausteinen graphisch dar. Die einzelnen Bausteine sind bewusst so dargestellt, dass sie nicht perfekt und fehlerfrei ineinanderpassen. Allerdings bauen sie aufeinander auf und bedingen somit in Teilen einander.

Neben BIM gibt es insgesamt sechs weitere Fokustechnologien, die jeweils einzeln, aber auch gemeinsam in unterschiedlichen Kombinationen Wertschöpfungspotenziale erzeugen. Dabei handelt es sich um (vgl. *Haghsheno et al.*, 2019, S. 46-52):

- Gamification und Crowdsourcing
- Cloud und Mobile Computing
- Augmented und Virtual Reality
- Internet der Dinge
- Künstliche Intelligenz
- Distributed Ledger

Für eine detaillierte Beschreibung dieser Technologien und ihre einzelnen Wertschöpfungspotenziale in Ergänzung zu BIM wird auf *Haghsheno et al.* (2019) verwiesen.

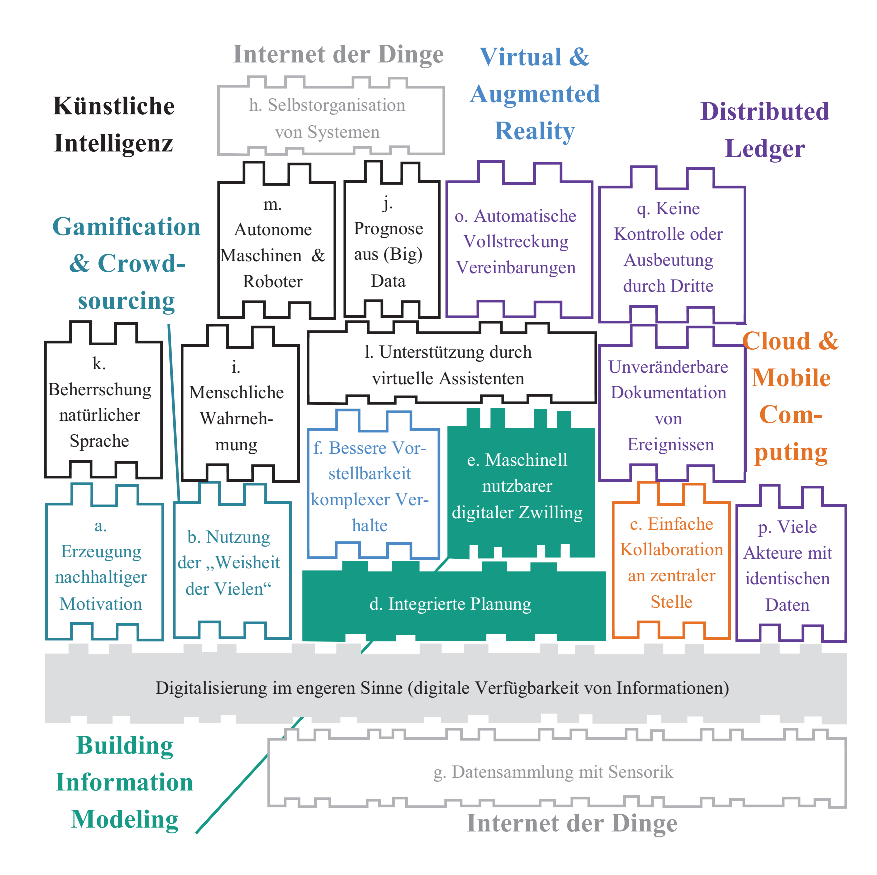


Abbildung 7: BIM als Baustein der Digitalisierung in Anlehnung an *Haghsheno et al.* (2019, S. 54)

Zur Einschätzung, dass BIM ein großes Potenzial bietet, kommen *Schober et al.* (2017). Sie bewerten in ihrer Studie unterschiedliche Trends hinsichtlich ihres Einflusses auf die jeweiligen Geschäftsmodelle (vertikale y-Achse) und sortieren sie in Abbildung 8 zugleich nach dem Reifegrad ihrer Implementierung (horizontale x-Achse).

gering Einfluss auf das Geschäftsmodell hoch
BIM
3D Druck
Robotik im Bau
Additive Fertigung
Big Data
Vorfertigung
Augmented Reality
Smarte Maschinen
Predictive Maintenance
gering Reifegrad der Implementierung hoch

Abbildung 8: Trendradar für die Bauwirtschaftnach *Schober et al.* (2017, S. 6)

Durch den Umstand, dass BIM weitere Technologien erst ermöglicht, wird deutlich, dass die Einführung von BIM in einem Unternehmen einen hohen Einfluss auf die bestehenden Geschäftsmodelle haben wird. Im Vergleich zu anderen Trends, die die Bauwirtschaft betreffen, verdeutlicht Abbildung 8 die herausgehobene Stellung von BIM. Die nach dieser Abbildung gleichzeitig erkennbare geringe Entwicklung (im linken Drittel der Skala im Bereich „neu entstehend“) macht BIM zusätzlich interessant, denn dadurch lassen sich Wettbewerbsvorteile erzielen, wenn ein Unternehmen es schafft, seine eigene BIM-Entwicklung im Vergleich zu der seiner Mitbewerber zu beschleunigen.

2.4 Einsatz von BIM in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten

BIM wird in Bauprojekten in der Praxis sehr unterschiedlich verwendet. Ein Projekt bezeichnet allgemein ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist“ (*DIN* 69901-5, 2009, S. 11). Projekte lassen sich in verschiedene Phasen unterteilen, wobei in der Literatur unterschiedliche Detaillierungen und Abgrenzungen vorzufinden sind. Im Zusammenhang mit Bauprojekten werden in Deutschland zwei Einteilungen häufig verwendet. Dabei handelt es sich um die Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) und die Projektstufen des Ausschusses der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (AHO). Eine Einteilung für Projekte im Allgemeinen liefert *DIN* 69901-2, 2009). Tabelle 2 zeigt die einzelnen dort verwendeten Phasen als Aufzählung. Es handelt sich nicht um eine vergleichende Übersicht. So bedeutet es nicht, dass z. B. die Phase Projektvorbereitung der DIN-Phase Initialisierung entspricht.

Tabelle 2: Übersicht Phasenmodelle nach HOAI, AHO und DIN

HOAI	**AHO Heft Nr. 9**	**DIN 69901**
Grundlagenermittlung	Projektvorbereitung	Initialisierung
Vorplanung	Planung	Definition
Entwurfsplanung	Ausführungsvorbereitung	Planung
Genehmigungsplanung	Ausführung	Steuerung
Ausführungsplanung	Projektabschluss	Abschluss
Vorbereitung der Vergabe		
Mitwirkung bei der Vergabe		
Objektüberwachung		
Objektbetreuung		

Es gibt zahlreiche Publikationen, die sich mit dem zeitlichen Vergleich dieser und weiterer Phasenmodelle auseinandersetzen, auf die an dieser Stelle lediglich verwiesen wird. Es stellt sich in diesem Zusammenhang dennoch die Frage, welche Phasen zur Einteilung von BIM-Projekten ggfs. geeignet sind. Auch hierzu gibt es unterschiedliche Einteilungen. In Anlehnung an *DIN EN ISO* 19650-2, 2017) verwendet das *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur* (2015, S. 11) im Stufenplan Digitales Planen und Bauen eine Einteilung, die auch in anderen Publikationen Einzug gefunden hat und in Abbildung 9 dargestellt ist. Dabei wird übergeordnet unterschieden in:

- Leistungsphase 0 - Vergabe der Planung
- Leistungsphase 1 + 2
- Leistungsphase 3 + 4
- Vergabe der Ausführung
- Bauausführung
- Betrieb + Unterhalt
- Rückbau

In den Vereinigten Staaten unterscheidet das *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 9) im Zusammenhang mit BIM die vier Phasen „Plan“, Design“, „Construct“ und „Operate“ (vgl. hierzu auch Kapitel 5.2.1). *Succar* (2015) hingegen empfiehlt im Zusammenhang mit BIM-Anwendungsfällen auf eine Einteilung in Projektphasen gänzlich zu verzichten (vgl. hierzu auch Kapitel 5.2.2) und *BIM4Infra2020* (2018, S. 10 f.) unterscheidet sogar doppelt: Zum einen werden AWF in die sechs Hauptgruppen Bestandserfassung, Planung, Genehmigung, Vergabe, Ausführung und Betrieb unterteilt, zum anderen erfolgt eine zeitliche Einordnung in die Leistungsphasen der HOAI + Betrieb. Weitere Ausführungen finden sich bspw. in *VDI* 2552 Blatt 7, 2018.

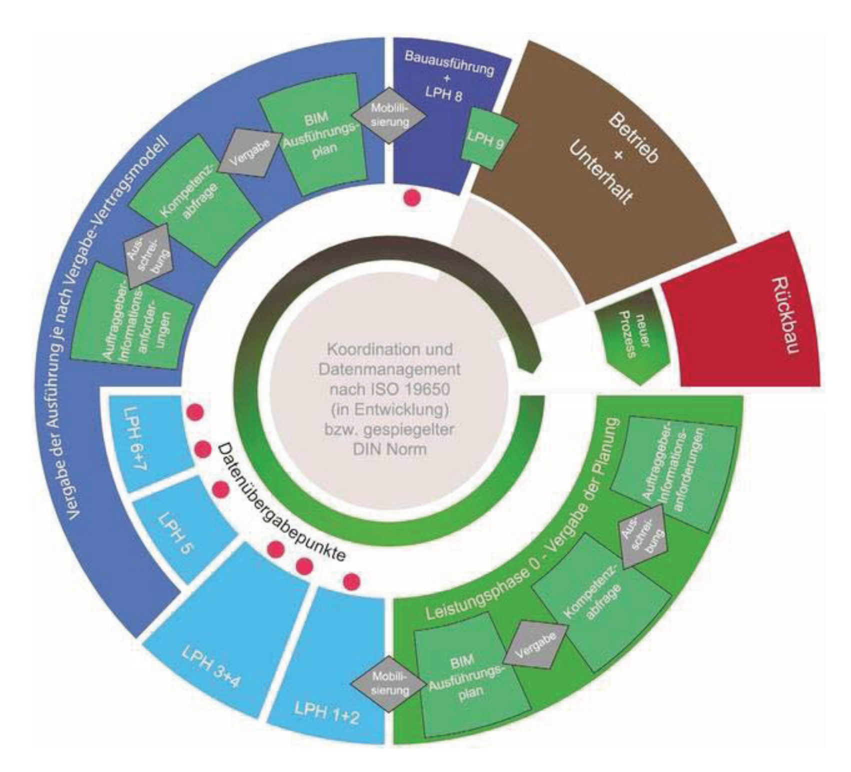


Abbildung 9: Schematische Darstellung des BIM-Referenzprozesses (*planen bauen 4.0*, 2015, S. 17)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es keine einheitliche Auffassung zur zeitlichen Unterteilung von BIM-Projekten gibt. Die einzelnen Autoren liefern unterschiedliche Begründungen für ihre jeweiligen Modelle. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Einteilung der aktuellen Publikation des AHO zu Building Information Modeling (Heft Nr. 11) zurückgegriffen und deren Einteilung übernommen. Der *Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V.* (2019, S. 12-20) unterscheidet im Zusammenhang mit BIM:

- Projektvorbereitung
- Projektplanung

- Projektrealisierung
- Projektbetrieb

Die Projektvorbereitung umfasst die Phasen vor HOAI Leistungsphase 1. Die wesentlichen Inhalte der Phase in Bezug zu BIM sind die Erarbeitung der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und des BIM-Abwicklungsplans (BAP). (Vgl. *Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V.*, 2019, S. 12). Die Planungsphase erstreckt sich von HOAI Leistungsphase 1 bis einschließlich Leistungsphase 5, die eigentliche Realisierung findet in Leistungsphase 8 statt, ergänzt um die Leistungsphasen 6 + 7 (Vergabe). Der Projektbetrieb beginnt nach Abschluss der Bautätigkeit und beträgt üblicherweise ein Vielfaches der Planungs- und Realisierungszeit. Im Fokus dieser Arbeit stehen die Planungsphase und die Realisierungsphase, wobei die Projektvorbereitung und der Betrieb ebenfalls Berücksichtigung finden.

Diese Einteilung wird aus mehreren Gründen als geeignet angesehen. Zum einen handelt es sich bei den Schriftenreihen um anerkannte Publikationen. Zum anderen orientiert sich Heft Nr. 11 bei der Beschreibung der Phasen wiederum an *VDI* 2552 Blatt 7, 2018. Ergänzend dazu entspricht die Verteilung häufig zitierten internationalen Publikationen, wie der des angesprochenen *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011).

Neben der zeitlichen Einteilung lassen sich Projekte hinsichtlich ihrer Beteiligten bzw. Rollen kategorisieren. Projektbeteiligte sind die „Gesamtheit aller Projektteilnehmer, -betroffenen und -interessierten, deren Interessen durch den Verlauf oder das Ergebnis des Projekts direkt oder indirekt berührt sind" (*DIN* 69901-5, 2009, S. 11). Diese Definition ist sehr weitfassend. *Haghsheno* (2004, S. 6) zieht daher als weiteres Differenzierungsmerkmal die Beziehung der Projektbeteiligten zum Bauherren heran und unterscheidet zwischen Projektbeteiligten im engeren Sinne (mit direkter Vertragsbeziehung zum Bauherren oder Verbindungen zu dessen Vertragspartnern, sog. indirekte Verbindungen) sowie Projektbeteiligten im weiteren Sinne (die keine direkte oder indirekte Vertragsbeziehungen zum Bauherren haben). Allerdings finden sich auch im Zusammenhang mit der Differenzierung von Projektbeteiligten viele weitere unterschiedliche Auslegungen je nach Autor,

die teils feingliedrigere Unterscheidungen vornehmen. Im Rahmen dieser Arbeit (insbesondere in Kapitel 5.3 und 0) stehen die folgenden Projektbeteiligten im Fokus:

- Bauherr
- Objektplaner
- Fachplaner
- Bauunternehmer und ggfs. Nachunternehmer
- Zulieferer
- Nutzer

Im Zusammenhang mit BIM und dem Einsatz in Bauprojekten haben sich im Wesentlichen drei weitere Rollen ergeben, die in konventionellen Bauprojekten ohne BIM nicht vorhanden sind, wobei erneut einzelne Autoren leicht voneinander abweichende Differenzierungen vornehmen (vgl. hierzu auch *Deubel et al.*, 2016, S. 104 sowie *Deubel* und *Haghsheno*, 2017, S. 6-9). Bei den drei Rollen handelt es sich um:

- BIM-Management
- BIM-Koordination
- BIM-Konstruktion

Die Aufgabe des BIM-Managements ist es, alle BIM-bezogenen Aufgaben im Projekt zu steuern. Es handelt sich damit um eine unternehmens- bzw. projektbeteiligten-übergreifende Maßnahme. Insbesondere bei der Implementierung von BIM kann es sich auch um die Initiierung von Schulungen o. ä. handeln. Die BIM-Koordination steuert die BIM-bezogenen Aufgaben innerhalb eines Unternehmens bzw. der Beteiligten und stellt damit sicher, dass die Anforderungen des BIM-Managements erfüllt werden. Die BIM-Konstruktion erstellt die eigentlichen Modelle.

Im Verlauf der Arbeit wird es zudem notwendig, eine weitere Differenzierung vorzunehmen. Dazu werden die Definitionen aus *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 4 übernommen:

- **BIM Autor (Informationsautor):**
  „Projektmitglied, das das Datenmodell über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks in Abstimmung mit den Informationskoordinatoren bearbeitet. Anmerkung: BIM-Autoren ergänzen entsprechend der vertraglich vereinbarten Qualität und unter Berücksichtigung von BIM-Standards im Rahmen der BIM-Prozesse Informationen aus den unterschiedlichen Fachdisziplinen im Datenmodell. Ihnen obliegt die Datenhoheit über die von ihnen erstellten Fach- und Teilmodelle. Beispielsweises fungiert der Bauleiter ebenfalls als BIM-Autor, indem er ein Protokoll einer Bewehrungsabnahme in der Ausführungsphase an das Datenmodell anfügt, bzw. verlinkt. Gleiches gilt auch für den Facility-Manager, der in der Betreiberphase Änderungen am Datenmodell vornimmt."
- **BIM Nutzer (Informationsnutzer):**
  „Projektmitglied, das das Datenmodell ausschließlich zur Informationsgewinnung nutzt und dem Modell keine Daten oder Informationen hinzufügt. Anmerkung: Ein BIM-Nutzer kann beispielsweise ein Ausführender auf der Baustelle sein, der anhand eines aus dem Modell abgeleiteten Schalungsplans die Schalung erstellt, jedoch keine Daten oder Informationen an das Modell anfügt."

Tabelle 3 zeigt zusammenfassend üblicherweise vorkommende Kombinationsmöglichkeiten von Projektphasen und -beteiligten in einem BIM-Projekt, wobei in Abhängigkeit des jeweiligen konkreten Rollen- und Phasenverständnisses sowie der genauen Vertragsstrukturen auch andere Kombinationen möglich sind. Das BIM-Management bildet die Basis und stellt zusammen mit der BIM-Konstruktion und der BIM-Koordination sicher, dass die BIM-bezogenen Aufgaben gemäß den Projektzielen umgesetzt werden. In Abhängigkeit der vorhandenen Kompetenzen bei den konventionellen Projektbeteiligten kann es sich bei den BIM-Rollen um eigenständige Rollen handeln oder um Leistungen, die von den konventionellen Beteiligten miterbracht werden. BIM-Autor und BIM-Nutzer können alle Projektbeteiligte werden. Ein gesetztes „X" bedeutet, dass der Beteiligte in der jeweiligen Phase aktiv ist.

Tabelle 3: Projektphasen und -beteiligte in einem BIM-Projekt

	Projektphasen / Projektrollen	Vorbereitung	Planung	Realisierung	Betrieb
Konventionell	Bauherr	X	X	X	X
	Objektplaner	X	X	X	
	Fachplaner		X	X	
	Bauunternehmer		X	X	
	Zulieferer		X	X	
	Nutzer				X
BIM	BIM-Konstruktion	X	X	X	X
	BIM-Koordination	X	X	X	X
	BIM-Management	X	X	X	X
	BIM-Autor	X	X	X	X
	BIM-Nutzer	X	X	X	X

2.5 Begriffsdefinitionen zur Wirtschaftlichkeit

2.5.1 Effektivität und Effizienz von BIM-Anwendungsfällen

Kapitel 2.5 erläutert wesentliche Dimensionen im Zusammenhang mit dem Begriff Wirtschaftlichkeit und liefert hierfür eine Definition. Im Vorgriff da-

rauf wurde in Kapitel 1.1 bereits das ökonomische Prinzip vorgestellt. Unternehmen können ihre Produktivität nach dem Maximal-, dem Minimal- oder dem Optimalprinzip ausrichten. „Der Grad der Verwirklichung des ökonomischen Prinzips wird mit der Effizienz und der Effektivität gemessen" (*Thommen et al.*, 2017, S. 46).

Während die Effektivität betrachtet, ob „die richtigen Dinge gemacht werden" (Leistungswirksamkeit), geht es bei der Betrachtung der Effizienz um die Frage, ob „die Dinge richtig gemacht werden" (Leistungsfähigkeit) (vgl. *Thommen et al.*, 2017, S. 46).

Im Zusammenhang mit BIM betrachtet die Effektivität eines AWF, ob ein AWF grundsätzlich geeignet ist, dass mit einer konventionellen Leistung verfolgte Ziel ebenfalls zu erbringen. Die Frage nach der Wirksamkeit des AWF wird untersucht. Die Beantwortung hängt von den verwendeten Untersuchungskriterien ab und wird im folgenden Teil erläutert. Die Effizienz eines AWF betrachtet hingegen das Verhältnis von Aufwand und Nutzen aus der Anwendung und damit die Wirtschaftlichkeit und das Nutzen-Aufwand-Verhältnis des AWF.

Daher muss zunächst betrachtet werden, was die „richtigen Dinge" sind. In Bezug auf BIM erfordert dies zu betrachten, welche Aufgaben in Planungs- und Bauunternehmen allgemein anfallen (konventionelle Leistungen) und welche durch BIM grundsätzlich ersetzt werden könnten (BIM-Leistungen). Der eigentliche Kern der BIM-Leistungen sind die BIM-Anwendungsfälle. Sie werden jedoch um sog. BIM-Vorleistungen ergänzt, die die Struktur und den Rahmen bilden, innerhalb derer BIM-Anwendungsfälle umgesetzt werden. Diese Vorleistungen können beispielsweise unternehmensinterne Regelungen zur Anwendung bestimmter Software oder Modellierungsvorschriften sein. Bei einem nach der Methode BIM umzusetzenden Bauprojekt werden solche Punkte häufig in den AIA und dem BAP geregelt (vgl. *Deubel et al.*, 2018, S. 297). An dieser Stelle soll betont werden, dass es in jedem BIM-Projekt stets eine Vielzahl an konventionellen Leistungen gibt, die nicht durch BIM ersetzt werden können. „Sie sind zur Projektrealisierung essenziell und beinhalten beispielsweise die eigentliche Errichtung des Bauwerks" (*Deubel et al.*, 2018, S. 296). Abbildung 10 zeigt diese Zusammenhänge

schematisch. In einem BIM-Projekt bilden die BIM-Vorleistungen den Rahmen für die BIM-Anwendungsfälle. Der Anteil der ersetzbaren konventionellen Leistungen hängt von der Anzahl der anzuwenden AWF und deren jeweiligem Reifegrad ab, wobei es nicht Ziel und auch nicht möglich ist, sämtliche konventionelle Leistungen durch BIM-Leistungen zu ersetzen.

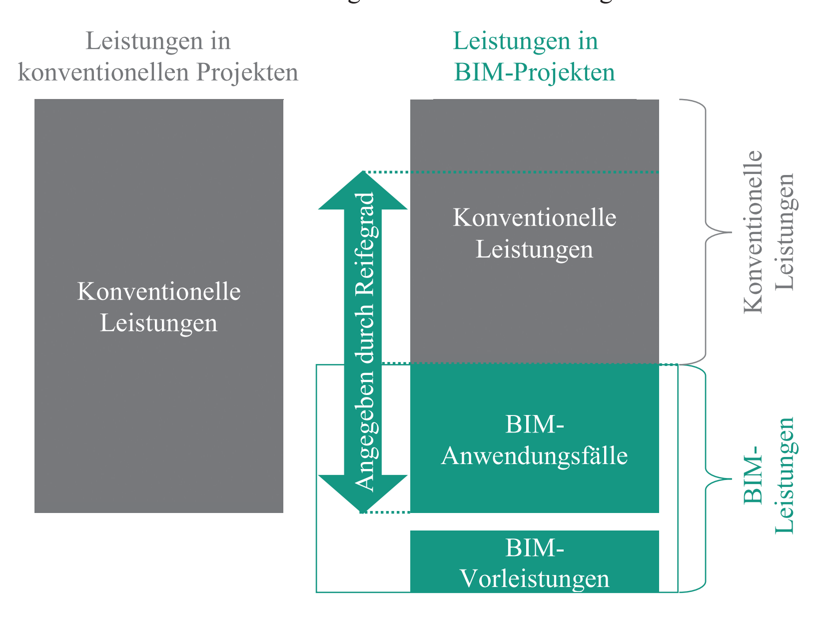


Abbildung 10: Konventionelle Leistungen und BIM-Leistungen in Abhängigkeit des Reifegrads

Die Effektivität betrachtet nun grundsätzlich, ob der BIM-Anwendungsfall als Ersatz oder Teilersatz der konventionellen Leistung geeignet ist. Ein häufig verwendeter AWF ist beispielsweise die Modellierung[11] von einzelnen Bauteilen eines Gebäudes. Die dadurch ersetzbare konventionelle Leistung wäre das Erstellen der entsprechenden Bauzeichnung. Abhängig von der jeweiligen Anzahl und Definition der Kriterien zur Messung und Überprüfung der Zielerreichung kann die Beantwortung der Frage nach der Effektivität des

[11] Der Unterschied zwischen modellieren und zeichnen bzw. Modell und Zeichnung wird zu Beginn des Kapitels 4.3 erläutert.

AWF simpel oder kompliziert sein. Wird zum Beispiel als Kriterium festgelegt, dass materialspezifische Kennwerte digital am jeweiligen Bauteil hinterlegt werden sollen, ist nur der AWF dazu in der Lage, da dies bei einer konventionellen Leistung nicht möglich ist. Eine Bauzeichnung bietet nicht die Möglichkeit, alphanumerische Werte digital am jeweiligen Objekt zu hinterlegen. Wäre hingegen das Kriterium zur Überprüfung der Zielerreichung definiert als „keine/geringstmögliche Kosten für Software“, so wäre das Ergebnis ein anderes. Vereinfachend könnte die Aussage getroffen werden, dass der AWF unter dieser Randbedingung nicht effektiv ist, da er zwangsläufig Software zur Umsetzung benötigt. Die Bauzeichnung könnte hingegen vollkommen ohne Software auf Papier erstellt werden.

In der Praxis entstehen hingegen zunehmend schwieriger lösbare Situationen. Zum einen wird, bezogen auf das vorherige Beispiel, i. d. R. auch bei konventionellen Leistungen Software verwendet, so dass ein AWF bezogener bzw. ein der konventionellen Leistung zuordenbarer Anteil an der Software bestimmt werden müsste. Zum anderen ist ein einziges Kriterium nicht dazu in der Lage, die Entscheidungssituation ausreichend genau abzubilden.

Mit zunehmender Anzahl an Kriterien zur Messung der Zielerreichung nimmt die Simplizität der Beantwortung der Frage nach der Effektivität des jeweiligen AWF ab. Gleichzeitig steigt aber auch die Realitätstreue. Um die Frage zu beantworten, ob ein AWF oder eine konventionelle Leistung zur Zielerreichung effektiver ist, ist es daher notwendig, ein Modell zu verwenden (vgl. hierzu auch Kapitel 2.2/Modellbegriff nach Stachowiak). Sonst wäre entweder die Simplizität oder die Realitätstreue zu gering. Diesen Zusammenhang stellt Abbildung 11 grafisch dar. Ist beispielsweise die Anzahl der Kriterien gering, so ist zwar die Simplizität hoch bzw. Beantwortung einfach, gleichzeitig ist jedoch auch die Realitätstreue gering. Die Anzahl der Kriterien sollte so gewählt werden, dass sowohl die Simplizität der Beantwortung als auch gleichzeitig die Realitätstreue nicht zu gering wird. Diese Anzahl wird als optimal bezeichnet und ist in Abbildung 11 rot dargestellt.

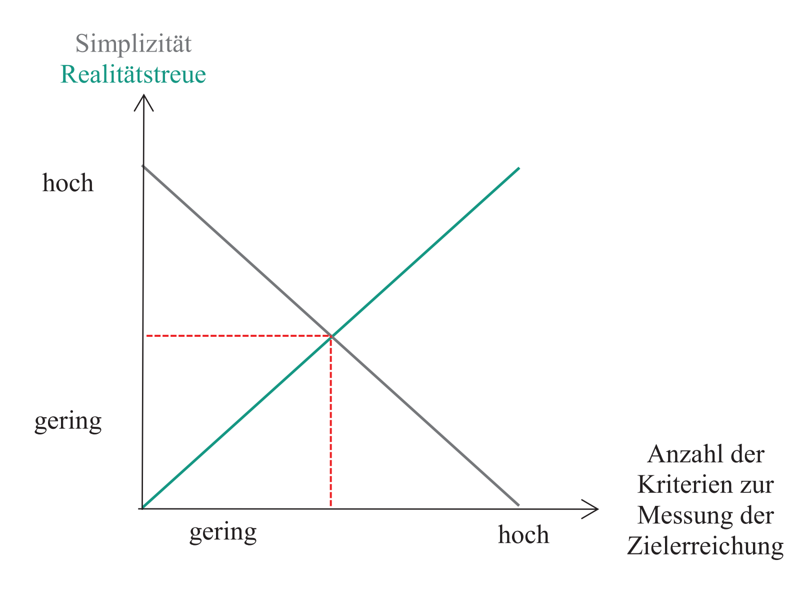


Abbildung 11: Effektivitätsproblem eines BIM-Anwendungsfalls (schematische Darstellung)

Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen (vgl. Kapitel 3), bei denen BIM-Projekte häufig im Ganzen, oberflächlich und damit unpräzise analysiert wurden, liefert der vorgestellte Ansatz des differenzierten Betrachtens einzelner AWF erste Hinweise darauf, wie die Effektivität präziser analysiert werden könnte. Dennoch kommt neben dem bereits vorgestellten Effektivitätsproblem bei der Beantwortung erschwerend hinzu, dass bei einem BIM Projekt i.d.R. mehrere AWF angewendet werden und diese AWF zwar zum Teil konventionelle Leistungen vollständig ersetzen, zum Teil aber auch nur anteilig ergänzen (sog. Hybridleistungen[12]) oder gänzlich neue Leistungen sind (vgl. *Deubel et al.*, 2018, S. 296 f.). Es entsteht somit eine Vielzahl an Wechselwirkungen, die stets projekt- bzw. unternehmensspezifisch ist und nicht pauschal beantwortet werden kann. Aus diesem Grund ist die Effektivität nicht

[12] Hybridleistungen sind Leistungen, die zum Teil durch BIM und zum anderen Teil konventionell erledigt werden (vgl. *Deubel et al.* 2018, S. 297).

Gegenstand der weiteren Untersuchungen dieser Arbeit bzw. es wird vorausgesetzt, dass der oder die jeweiligen AWF zur Bearbeitung der Aufgabe geeignet (effektiv) ist bzw. sind.

Auf der hier angestrebten theoretischen und verallgemeinernden Betrachtungsebene erscheint es vielversprechender, sich intensiver mit der Effizienz der AWF auseinanderzusetzen. „Unter Effizienz versteht man die Beurteilung der Beziehung zwischen der erbrachten Leistung und dem Ressourceneinsatz […] Die Effizienz kann mit der Produktivität gemessen werden" (*Thommen et al.*, 2017, S. 46). Dazu werden zunächst weitere notwendige Begriffe erläutert, um abschließend die Wirtschaftlichkeit eines AWF beschreiben zu können.

2.5.2 Formal- und Sachziele

„Als Produktivität bezeichnet man das mengenmäßige Verhältnis zwischen Output und Input des Produktionsprozesses" (*Thommen et al.*, 2017, S. 46). Berechnet werden kann die Produktivität P mit Formel 1.

$$P = \frac{Rw}{nEf}$$

Formel 1: Berechnung der Produktivitätin Anlehnung an *Thommen et al.* (2017, S. 46)

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- P = Produktivität
- Rw = Arbeitsergebnis
- nEf = Einsatzmenge an Produktionsfaktoren

Die Produktivität einer Maschine wäre beispielsweise das Verhältnis der produzierten Stückzahl zur dafür aufgewandten Anzahl an Maschinenstunden. Zur Bestimmung der Produktivität eines AWF müssen folglich die benötigen Produktionsfaktoren sowie das resultierende Arbeitsergebnis definiert und gemessen werden.

„Mit der Wirtschaftlichkeit wird – im Gegensatz zur Produktivität – ein Wertverhältnis zum Ausdruck gebracht” (*Thommen et al.*, 2017, S. 46). Sie kann mit Formel 2 berechnet werden.

$$W = \frac{E_m}{A_m}$$

Formel 2: Berechnung der Wirtschaftlichkeit in Anlehnung an *Thommen et al.* (2017, S. 47)

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- W = Wirtschaftlichkeit
- E_m = Monetär bewerteter Ertrag
- A_m = Monetär bewerteter Aufwand

Arbeitsergebnis und die Einsatzmenge an Produktionsfaktoren können beispielsweise in Euro bewertet werden und beschreiben dann den Ertrag und den Aufwand. Sie setzen sich allgemein aus den Kosten und der Leistung sowie aus außerordentlichen, periodenfremden und betriebsfremden (neutralen) Aufwänden und Erträgen zusammen. Abbildung 12 zeigt diesen Zusammenhang schematisch.

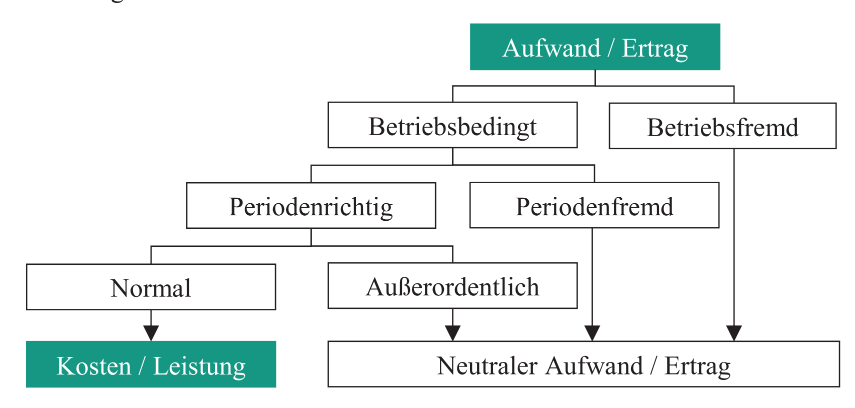


Abbildung 12: Von Aufwand und Ertrag zu Kosten und Leistung in Anlehnung an Hauptverband der Deutschen Bauindustrie und Zentralverband Deutsches Baugewerbe (2016, S. 13)

Im Rahmen dieser Arbeit wird vereinfachend davon ausgegangen, dass es keine neutralen Aufwände und Erträge gibt. Der Begriff Aufwand wird daher mit den Kosten und der Begriff Ertrag mit der Leistung gleichgesetzt und synonym verwendet.

$$W = \frac{E_m}{A_m} = \frac{L_m}{K}$$

Formel 3: Vereinfachte Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- W = Wirtschaftlichkeit
- E_m = Monetär bewerteter Ertrag
- A_m = Monetär bewerteter Aufwand
- L_m = Monetär bewertete Leistung
- K = Kosten

„Die Wirtschaftlichkeit ist somit eine dimensionslose Zahl. Beträgt sie genau 1, so wird weder ein Verlust noch ein Gewinn erzielt“ (*Thommen et al.*, 2017, S. 47). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass ein AWF wirtschaftlich ist, wenn der Ertrag größer als der Aufwand bzw. die Leistung größer als die Kosten ist, die Wirtschaftlichkeit also größer als 1 ist.

Neben Produktivität und Wirtschaftlichkeit ist häufig noch eine weitere Kennzahl von Interesse. Dabei handelt es sich um die Rentabilität. „Das Gewinnziel kann entweder absolut als Differenz zwischen Ertrag und Aufwand (Gewinn) oder relativ als Relation zwischen Gewinn und dem zur Erwirtschaftung dieses Gewinnes eingesetzten Kapital formuliert werden. Letzteres bezeichnet man als Rentabilität.“ (*Thommen et al.*, 2017, S. 47). Formel 4 und Formel 5 stellen die Zusammenhänge mathematisch dar.

$$G = E_m - A_m = L_m - K$$

Formel 4: Berechnung des Gewinns

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- G = Gewinn
- E_m = Monetär bewerteter Ertrag
- A_m = Monetär bewerteter Aufwand
- L_m = Monetär bewertete Leistung
- K = Kosten

$$R = \frac{G}{Kap} \, x \, 100$$

Formel 5: Berechnung der Rentabilitätnach (*Thommen et al.*, 2017, S. 47)

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- R = Rentabilität
- G = Gewinn
- Kap = Eingesetztes Kapital

Nach *Thommen et al.* (2017, S. 44) bilden Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Rentabilität die übergeordneten Ziele eines Unternehmens, die den Erfolg des unternehmerischen Handels zum Ausdruck bringen. Sie werden daher als Erfolgs- oder Formalziele bezeichnet. Daneben gibt es die sog. Sachziele, die sich auf das konkrete Handeln beziehen. Sowohl Formal- als auch Sachziele beeinflussen die betriebliche Tätigkeit, wie Abbildung 13 verdeutlicht. Alle Ziele stehen in unterschiedlichen Abhängigkeiten zueinander (komplementär, konkurrierend oder indifferent) und können je nach Unternehmen verschieden gewichtet werden. Häufig erfolgt die Priorisierung im Hinblick auf die Leistungs- und Finanzziele (ökonomische Ziele), da diese die Ausgangsbasis für die Verfolgung gesellschaftlicher Ziele bilden. Auf der anderen Seite gibt es bewusst Ausrichtungen (z. B. Non-Profit-Organisationen), bei denen die ökonomischen Ziele eine untergeordnete Rolle spielen. (Vgl. *Thommen et al.*, 2018, S. 168 f.) Diese Aspekte spielen auch bei der Untersuchung von BIM-Anwendungsfällen eine wichtige Rolle. Nicht nur die Auswirkungen der AWF auf die ökonomischen Ziele sollten betrachtet werden, sondern beispielsweise auch die immer wichtiger werdenden sozia-

len und ökologischen Ziele. Diese können differenziert werden in mitarbeiter- und gesellschaftsbezogene Ziele. Mitarbeiterbezogene Ziele sind beispielsweise gerechte Entlohnung, Gewinnbeteiligung und gute Sozialleistungen, aber auch gute Arbeitsbedingungen und Weiterbildungsmöglichkeiten. Gesellschaftsbezogene Ziele hingegen sind Maßnahmen, die zum Wohl der Gesellschaft erbracht werden, nicht unmittelbar Formalziele erfüllen, jedoch mittelbar durchaus auch dem Unternehmen z. B. durch einen allgemeinen Imagegewinn, Erhöhung der Mitarbeiterloyalität, Akquisition neuer Kundengruppen oder der Gewinnung qualifizierter Mitarbeiter dienen können. (Vgl. *Thommen et al.*, 2017, S. 45 f.)

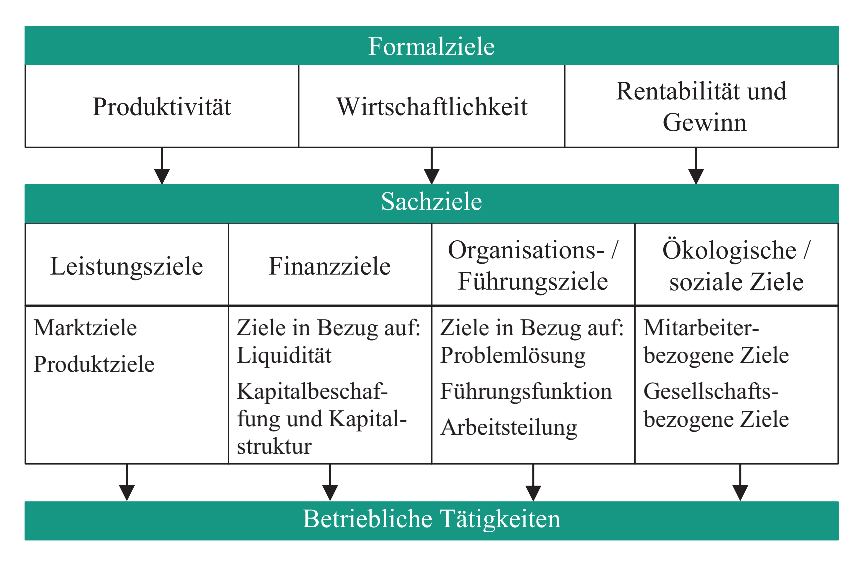


Abbildung 13: Ziele betrieblicher Tätigkeiten in Anlehnung an *Thommen et al.* (2017, S. 47)

Übertragen auf die Untersuchung von AWF bedeutet es folglich, dass diese nicht nur im Hinblick auf die Erfüllung von Formalzielen, sondern auch auf die Erfüllung der mitarbeiter- und gesellschaftsbezogenen Ziele untersucht werden sollen. Dazu werden im Verlauf der Arbeit mehrere Thesen aufgestellt und diskutiert. Es wird beispielsweise vermutet, dass Unternehmen, die BIM verwenden, als besonders innovativ betrachtet werden und daher die

Gewinnung qualifizierter (z. B. IT- bzw. technologieaffiner) Mitarbeiter leichter fällt. Eine weitere exemplarische Vermutung auf Ebene eines konkreten AWF (Visualisierung) lautet, dass die Akquisition neuer Kunden besser gelingt. Insbesondere unregelmäßig oder einmalig bauenden Bauherren fehlt häufig das notwendige Abstraktionsvermögen, das zum Verständnis eines Gebäudes bei der Betrachtung einfacher 2D Zeichnungen notwendig ist. Mit Hilfe von Virtual Reality (VR) kann ein Gebäudedatenmodell hingegen sehr realitätsgetreu begangen werden.

2.5.3 Nutzen und Aufwand

Der Grad der Erreichung des jeweiligen Ziels (Bedürfnisbefriedigung) wird durch den Nutzen angegeben (vgl. *Möller* und *Kalusche*, 2013, S. 5). Allgemein bezeichnet Nutzen den Vorteil, der sich aus dem Gebrauch eines Gutes ergibt (vgl. *Wieczorrek* und *Mertens*, 2011, S. 279). Der Nutzen eines AWF ist somit der Vorteil, der sich aus seiner Anwendung ergibt. Allerdings stellt sich die Frage, wie dieser Vorteil bzw. Nutzen bestimmt werden kann. Die Beantwortung ist aus mehreren Gründen schwierig. Das liegt u. a. daran, dass es sich bei der Anwendung von BIM in Teilen um die Anwendung von Informationstechnologie (IT) handelt. IT-Leistungen sind im Wesentlichen innerbetriebliche Leistungen, die keine direkten Einnahmen im Sinne des betriebswirtschaftlichen Ertragsbegriffs erzeugen (vgl. *Brugger*, 2009, S. 84). Erträge erzeugen nur die extern veräußerbaren Produkte oder Dienstleistungen des jeweiligen Unternehmens, wohingegen IT die Geschäftsprozesse verbessert und unterstützt bzw. in Teilen überhaupt erst ermöglicht. Abbildung 14 stellt diese Zusammenhänge dar. Der Umfang der IT wird vom Geschäftsmodell beeinflusst. Umgekehrt kann das Vorhanden- bzw. Nichtvorhandensein von IT das Geschäftsmodell genauso beeinflussen. Sieht beispielsweise die Strategie eines Unternehmens eine umfangreiche Digitalisierung vor, bedingt diese den Einsatz umfangreicher IT-Anwendungen. Mit Hilfe von IT können bestehende Geschäftsprozesse (z. B. Mengenermittlung für die Angebotskalkulation) verbessert oder neue Geschäftsprozesse (z. B. dreidimensionale Kollisionskontrolle) ermöglicht werden. Ein BIM-Anwendungsfall ist folglich ein IT-gestützter Geschäftsprozess. Der aus

der Anwendung entstehende Nutzen setzt sich aus dem Ertrag des Geschäftsprozesses (direkt monetär messbarer Nutzen) und aus der Anwendung der IT (indirekt monetär messbarer und nicht monetär messbarer Nutzen) zusammen (vgl. *Wieczorrek* und *Mertens*, 2011, S. 278 und *Brugger*, 2009, S. 88). Zusätzlich kann die Anwendung eines AWF Einsparungen zur Folge haben. Die negativen Kostengrößen im Sinne von Kosteneinsparungen bzw. Kostensenkungen haben den Charakter von Opportunitätskosten und bilden ebenfalls einen Nutzen der direkt monetär messbar ist (vgl. *Wieczorrek* und *Mertens*, 2011, S. 278). „Als Opportunitätskosten bezeichnet man den Nutzenentgang (= entgangener Erlös) aus der nicht realisierten bestmöglichen Alternativverwendung knapper Güter“ (*Wöhe et al.*, 2016, S. 867). Einsparungen sind auch im indirekt monetär messbaren sowie nicht monetär messbaren Bereich möglich.

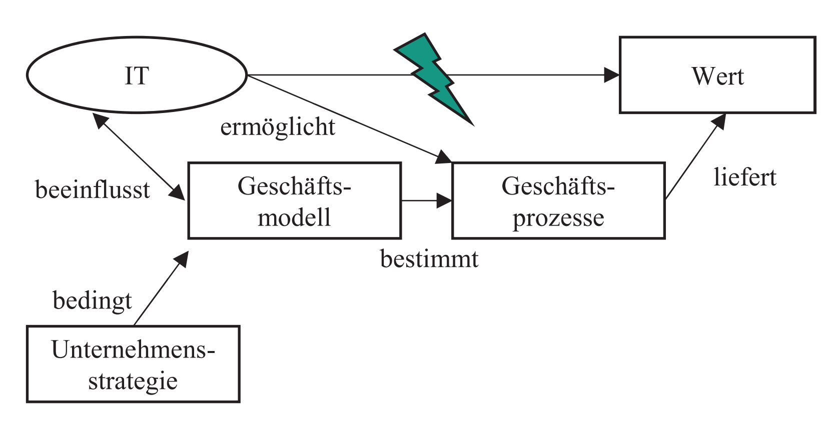


Abbildung 14: Wirkungszusammenhänge von IT und Unternehmenserfolg nach *Krcmar* (2015, S. 477)

Der Nutzen lässt sich nur durch zuvor erbrachten Aufwand erzielen. Dieser Aufwand kann in den Implementierungsaufwand (einmalige Investitionskosten) und den Anwendungsaufwand (laufende Betriebskosten) differenziert werden (vgl. *Brugger*, 2009, S. 64). Im betriebswirtschaftlichen Sinne kann beim Implementierungsaufwand auch von fixen Kosten und beim Anwen-

dungsaufwand von variablen Kosten gesprochen werden. Der Implementierungsaufwand spiegelt sich im Reifegrad wider. Der Reifegrad wird in Kapitel 4 genauer vorgestellt. Der Anwendungsaufwand ist Inhalt des Kapitels 6.3 und wird im weiteren Verlauf vereinfachend nur als Aufwand bezeichnet. Anders ausgedrückt hängt der Nutzen von BIM bzw. eines AWF somit vom Reifegrad und dem Aufwand ab. Abbildung 15 stellt den Zusammenhang grafisch dar.

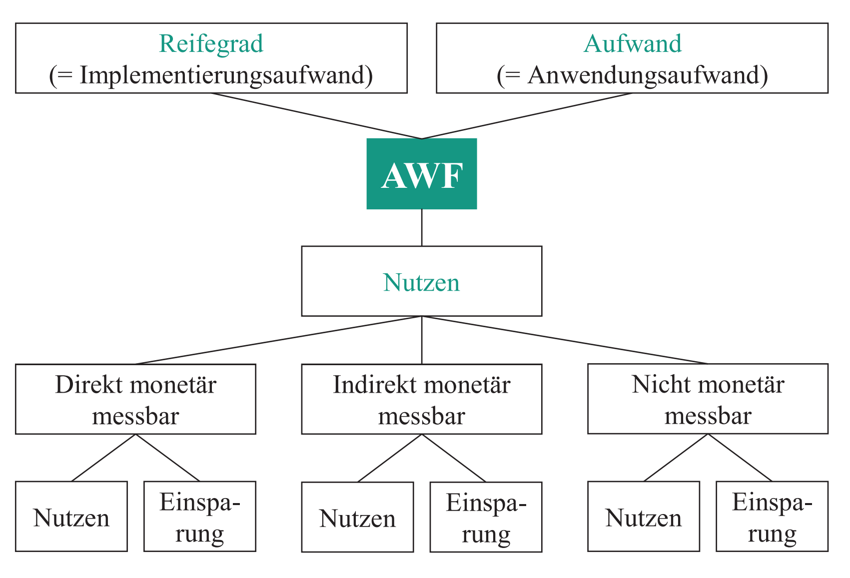


Abbildung 15: Schematische Nutzen-Aufwand-Beziehungen

2.5.4 Kennzahlensysteme

Die vorherigen Kapitel verdeutlichen, dass verschiedene Faktoren Einfluss auf Aufwand und Nutzen von AWF und BIM im Gesamten haben. Dies ist auch allgemein bei unternehmerischen Betätigungen der Fall. In der Betriebswirtschaftslehre hat sich zum besseren Verständnis dieser verschiedenen Einflüsse die Verwendung von Kennzahlen etabliert.

Mit Hilfe von Kennzahlen können unterschiedliche Aktivitäten und Zusammenhänge abgebildet werden. Es wird möglich, über betriebliche Tatbestände und Entwicklungen zu informieren. Grundlegend lassen sie sich in absolute und relative Kennzahlen unterscheiden. Erstere geben unmittelbare Auskunft über einen bestimmten Sachverhalt in Form von einzelnen Zahlenwerten, Summen, Differenzen oder Mittelwerten. Relative Kennzahlen hingegen werden aus dem Quotienten zweier absoluter Zahlen gebildet. (Vgl. *Botsis et al.*, 2015, S. 65 f.) Im englischen Sprachgebrauch wird für Kennzahl oftmals der Begriff Key Performance Indicator (KPI) oder Key Performance Outcome (KPO) verwendet. Während KPO Kennzahlen über abgeschlossen Prozesse sind, können KPI zur Steuerung laufender Prozesse herangezogen werden (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 11).

Relative Kennzahlen sind sog. Verhältniskennzahlen, die sich in Gliederungs-, Beziehungs- und Indexzahlen unterteilen lassen. Gliederungszahlen beschreiben die Aufteilung von Etwas in Bezug zur Gesamtheit. Beziehungszahlen setzen Einzelzahlen in Relation zueinander und Indexzahlen stellen eine zeitliche Entwicklung dar. (Vgl. *Eichhorn* und *Merk*, 2016, S. 370). Dazu werden nachfolgend drei Beispiele in Anlehnung an *Eichhorn* und *Merk* (2016, S. 371) genannt.

Beispielsweise kann ein Unternehmen mit Hilfe von Formel 6 in Form einer Gliederungszahl den Anteil der Kosten für BIM Software in Bezug zu den Gesamtkosten für Software angeben.

$$K_{S(BIM)} = \frac{A_{mS(BIM)}}{A_{mS(Gesamt)}}$$

Formel 6: Beispiel für Berechnung einer BIM-spezifischen Gliederungszahl

Die verwendeten Variablen sind:

- $K_{S(BIM)}$ = BIM-Softwarekosten Kennzahl
- $A_{mS(BIM)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software
- $A_{mS(Gesamt)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für gesamte Software

Auch ist es möglich die BIM-Softwarekosten in Relation zur Anzahl der angewendeten AWF mit Formel 7 in Form einer Beziehungszahl darzustellen.

$$A_{mS(AWF)} = \frac{A_{mS(BIM)}}{nAWF}$$

Formel 7: Beispiel für Berechnung einer BIM-spezifischen Beziehungszahl

Die verwendeten Variablen sind:

- $A_{mS(AWF)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software pro AWF
- $A_{mS(BIM)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software
- nAWF = Anzahl der mit $A_{mS(BIM)}$ verwendeten AWF

Ebenso kann mit Hilfe einer Indexzahl gemäß Formel 8 die jährliche Entwicklung der BIM-Softwarekosten betrachtet werden (hier indexiert auf das Basisjahr 2015).

$$I_{S(BIM)} = \frac{A_{mS(BIM,2019)}}{A_{mS(BIM,2015)}} \; x \; 100$$

Formel 8: Beispiel für Berechnung einer BIM-spezifischen Indexzahl (hier Bezug der Kosten für BIM-Software für das Jahr 2019 auf das Jahr 2015)

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- $I_{S(BIM)}$ = BIM-Softwarekosten Indexzahl
- $A_{mS(BIM,2019)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software im Jahr 2019
- $A_{mS(BIM,2015)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM-Software im Jahr 2015

Diese Gedanken können fortgeführt werden und mit Hilfe der unterschiedlichen Aufwands- und Nutzenwerte eine Vielzahl von Kennzahlen erzeugt werden. Welche Kennzahlen geeignet sind, hängt in gewisser Weise vom Unternehmen selbst und natürlich von den zur Verfügung stehenden Werten ab. Verständlicherweise sollten nur sinnhafte Kennzahlen verwendet werden, die

für die jeweiligen Entscheider eine Entscheidungsgrundlage liefern. Zur Bewahrung des Überblicks und vor allem, um „statt monokausaler Erklärungsversuche sich einen Gesamtüberblick über das Betriebsgeschehen zu verschaffen", verwendet man sog. Kennzahlensysteme (*Eichhorn* und *Merk*, 2016, S. 371). Eines der bekanntesten Kennzahlensysteme geht zurück auf das Jahr 1919: Der amerikanische Chemiekonzern DuPont veröffentlichte sein System zur Bestimmung des Return on Investment (ROI) [13] (vgl. *Sandt*, 2005, S. 430 f.). Abbildung 16 zeigt das Grundprinzip des ROI als Kennzahlensystem, das sich aus dem Produkt aus Umsatzrentabilität und Kapitalumschlag bzw. aus dem Quotienten von Gewinn zu investiertem Kapital zusammensetzt.

Zur Bedeutung der weiteren in Abbildung 16 verwendeten Begriffe wird auf *Wöhe et al.* (2016), *Thommen et al.* (2017) und *Pape* (2018) verwiesen. Der ROI im Zusammenhang mit BIM wird in Kapitel 3.3 thematisiert.

Neben der Überwachung und Steuerung der unternehmensinternen Aktivitäten werden Kennzahlen und Kennzahlensysteme häufig zum Vergleich mit anderen Abteilungen oder Unternehmen herangezogen. Dabei ist zu beachten, dass hinsichtlich der Leistungen oder der Unternehmensstruktur eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Sind diese Voraussetzungen erfüllt und liegen entsprechend vergleichbare Kennzahlen vor, kann bestimmt werden, ob die eigene Position über-, unter- oder durchschnittlich ist. Dieses Vorgehen bezeichnet man als Benchmarking.[14] (Vgl. *Eichhorn* und *Merk*, 2016, S. 373)

[13] Häufig verwendete deutschsprachige Bezeichnungen für den ROI sind Kapitalrendite, Kapitalrentabilität oder Anlagenrendite

[14] Aus dem Englischen: Maßstab oder Orientierungswert

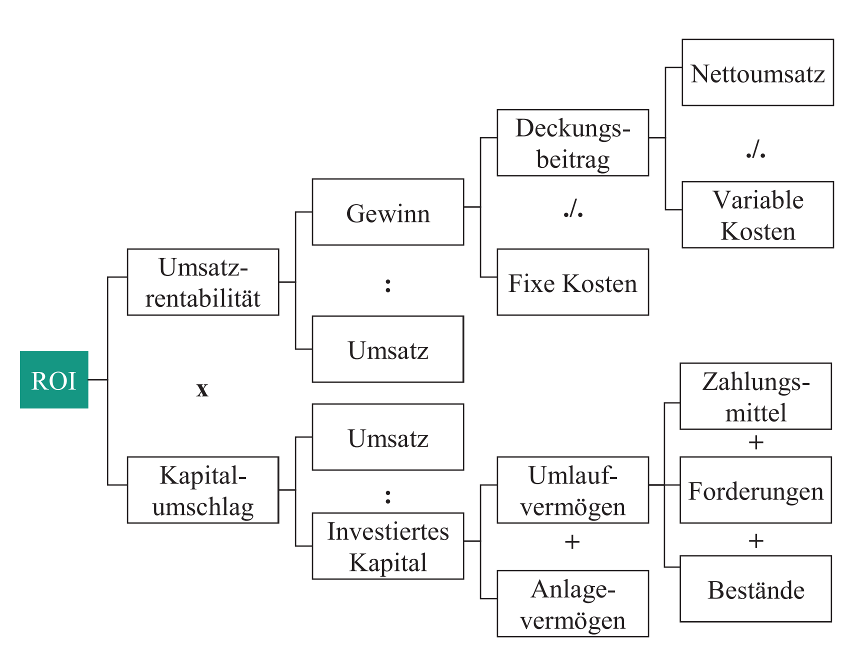


Abbildung 16: ROI-Kennzahlensystem in Anlehnung an *Eichhorn* und *Merk* (2016, S. 372) und *Pape* (2018, S. 286)

Kennzahlen und Kennzahlensysteme liefern somit wichtige Hinweise, um Entscheidungen in Unternehmen auf einer objektiven Grundlage treffen zu können. Allerdings liefern nur sinnvoll konstruierte Kennzahlen eine verlässliche Grundlage. *Kühnapfel* (2019, S. 19) merkt passend an: „Die Schlagzahl des Ruderers zu zählen ist gut, aber ohne zu wissen, mit welcher Kraft er jede Durchzugsbewegung ausführt, ist es unmöglich zu erahnen, wie schnell sich das Boot fortbewegen wird." Darüber hinaus könnten Sensoren Auskunft geben, ob Boot und Ruder überhaupt im Wasser sind, sowie die Fließ- und Windgeschwindigkeit ermitteln.

2.5.5 Wirtschaftlichkeit und Nutzen-Aufwand-Verhältnis

Im Rahmen dieser Arbeit wird die in Kapitel 2.5.2 vorgestellte Definition der Wirtschaftlichkeit im betriebswirtschaftlichen Sinne aufgegriffen und für einen AWF konkretisiert:

> *Die Gesamtwirtschaftlichkeit eines AWF ist das Verhältnis des monetär bewerteten Nutzens zur monetär bewerteten Summe von Implementierungs- und Anwendungsaufwand.*
>
> *Die Anwendungswirtschaftlichkeit eines AWF ist das Verhältnis des monetär bewerteten Nutzens zum monetär bewerteten Anwendungsaufwand.*

Die Gesamtwirtschaftlichkeit eines AWF wird mit Formel 9 berechnet.

$$W_{G(AWF)} = \frac{N_{m(AWF)}}{A_{Im(AWF)} + A_{Am(AWF)}}$$

Formel 9: Berechnung der Gesamtwirtschaftlichkeit eines AWF

Die verwendeten Variablen bedeuten:

- $W_{G(AWF)}$ = Gesamtwirtschaftlichkeit eines AWF
- $N_{m(AWF)}$ = Monetär bewerteter Nutzen des AWF
- $A_{Am(AWF)}$ = Monetär bewerteter Anwendungsaufwand des AWF
- $A_{Im(AWF)}$ = Monetär bewerteter Implementierungsaufwand des AWF

Die Anwendungswirtschaftlichkeit kann mit Formel 10 berechnet werden.

$$W_{A(AWF)} = \frac{N_{m(AWF)}}{A_{Am(AWF)}}$$

Formel 10: Berechnung der Anwendungswirtschaftlichkeit eines AWF

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- $W_{A(AWF)}$ = Anwendungswirtschaftlichkeit des AWF
- $N_{m(AWF)}$ = Monetär bewerteter Nutzen des AWF
- $A_{Am(AWF)}$ = Monetär bewerteter Anwendungsaufwand des AWF

Aus Abbildung 15 ergibt sich, dass nicht alle Nutzen direkt monetär messbar sind. Sind Nutzen nicht oder nur indirekt monetär messbar, kann dennoch ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis (NAV) Auskunft darüber geben, ob die Anwendung des AWF sinnvoll ist oder nicht. Es wird wie folg definiert:

> *Das Nutzen-Aufwand-Verhältnis (NAV) eines AWF ist das Verhältnis des Gesamtnutzens zum Gesamtaufwand des AWF oder das Verhältnis eines Teilnutzens zum zugehörigen Teilaufwand eines AWF. Es kann berechnet werden, wenn Nutzen und Aufwände in derselben Einheit erfasst werden.*

Übersteigt beispielsweise der in einer Zeiteinheit ermittelte Nutzen aus der Anwendung eines AWF die dafür aufgebrachte Zeit, ergibt sich ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis größer als 1. Die Anwendung des AWF ist sinnvoll. Es kann mit Formel 11 berechnet werden.

$$NAV_{AWF} = \frac{N_{x(AWF)}}{A_{x(AWF)}}$$

Formel 11: Berechnung des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses eines AWF

Die verwendeten Variablen sind:

- NAV_{AWF} = Nutzen-Aufwand-Verhältnis eines AWF
- $N_{x(AWF)}$ = In Einheit x (z. B. Arbeitsstunden oder Stück) bewerteter Nutzen des AWF
- $A_{x(AWF)}$ = In Einheit x (z. B. Arbeitsstunden oder Stück) bewerteter Aufwand des AWF

Es stellt sich die Frage, wie die einzelnen Nutzen und Aufwände bzw. deren Höhen erfasst werden können, um somit eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit oder das Nutzen-Aufwand-Verhältnis zu erhalten. Das folgende Kapitel 2.6 befasst sich daher mit allgemeinen betriebswirtschaftlichen Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit, bevor in Kapitel 6.2 Aufwendungen und Nutzen von AWF identifiziert und abschließend eine Methode zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM erarbeitet wird.

Ergänzend ist festzuhalten, dass unter Umständen Nutzen nicht in derselben Einheit wie die Aufwände gemessen oder überhaupt nicht gemessen werden können, sondern z. B. nur ihrer Höhe nach geordnet oder qualitativ eingeschätzt werden können. Sofern Nutzen nicht in der Einheit des Aufwands erfasst werden, kann weder die Wirtschaftlichkeit noch ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis gebildet werden. Dennoch ist die Erfassung in dieser Form nützlich, da auch solche Informationen die Entscheidung darüber, ob ein AWF verwendet wird oder nicht, unterstützen können. Beispielsweise können diese Nutzen mit den Nutzen aus anderen AWF-Anwendungen verglichen werden und z. B. in Form eines Benchmarking entsprechende Erkenntnisse über die Sinnhaftigkeit ihrer Anwendung liefern. In Kapitel 6 wird dieser Ansatz verwendet, um erste Näherungen über Aufwände und Nutzen von BIM bzw. einzelner AWF zu erhalten, da einige Autoren nur allgemein Nutzen oder Aufwände beschreibend aufführen, statt sie ihrer Höhe nach zu bewerten. Dennoch kann dadurch, unter der Annahme einer gleichhohen Bewertung der einzelnen Nutzen, bspw. die Aussage getroffen werden, dass ein AWF mit sieben beschriebenen Nutzen einen höheren Nutzen als ein AWF mit nur drei beschrieben Nutzen besitzt.

2.6 Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit

2.6.1 Vorbemerkungen

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme stellt sich in allen Branchen. Eine wesentliche Grundlage zur Beantwortung bilden dabei die

Investitionsrechenverfahren. Sie haben das Ziel, die finanziellen Wirkungen einer Investition vorherzusagen und die monetären Daten so zu komprimieren, dass eine Investitionsentscheidung getroffen werden kann (vgl. *Wöhe et al.*, 2016, S. 473). Allerdings wurde, in Abhängigkeit dessen, was genau untersucht werden soll, eine Vielzahl an weiteren, spezielleren Verfahren entwickelt, die beispielsweise auch nicht-finanzielle Wirkungen berücksichtigen. Alle Verfahren haben gemeinsam, dass sie mehr oder weniger verlässliche Antworten auf die Frage geben, ob eine Investition getätigt werden sollte oder nicht. Bei der Beantwortung ist es wichtig zu entscheiden, woran gemessen wird bzw. anhand welcher Skalen eine Einteilung der Ergebnisse und somit die Beschreibung der Zielerreichung erfolgt. Nach *Thommen et al.* (2017, S. 48) sowie *Eichhorn* und *Merk* (2016, S. 263 f.) kann die Messung der Zielerreichung auf verschiedenen Skalen erfolgen:

- Kardinalskala: Die Zielerreichung kann durch einen numerischen Wert ausgedrückt werden, das Ziel ist quantifizierbar. Weiter kann in Verhältnis- und Intervallskalen differenziert werden. Die Verhältnisskala besitzt einen festen Nullpunkt (z. B. Zentimeter-Einteilung auf einem Meterstab), wohingegen die Intervallskala keinen festen Nullpunkt (z. B. Temperaturwerte) besitzt. Die Verhältnisskala ist somit für ökonomische Analysen am besten geeignet.
- Ordinalskala: Verschiedene Zielerreichungsgrade können in eine Reihenfolge gebracht werden und dadurch miteinander verglichen werden (z. B. Härtestufen 1 bis 10 für Mineralien). Ein anderes Beispiel sind die Schulnoten. Es ist zwar die Aussage möglich, dass die Note 1 besser als Note 2 ist, jedoch ist sie nicht doppelt so gut. Dennoch können bei ordinalskalierten Daten i.d.R. Mittelwerte oder Standardabweichungen bestimmt werden, sofern den Ergebnisse Zahlenwerte zugewiesen werden (können).
- Nominalskala: Diese Skala hat die geringste Aussagekraft. Es kann nur bestimmt werden, ob ein Ziel erreicht worden ist oder nicht (z. B. die Produktqualität ist befriedigend oder nicht befriedigend). Dadurch können z. B. Häufigkeiten bestimmt werden.

Untersuchungen von Investitionen sind klassische Aufgabenstellungen in der Betriebswirtschaftslehre und werden in dieser Arbeit nicht vollumfänglich

betrachtet. Beispielsweise bleibt unberücksichtigt, ob eine Investition mit Eigenkapital oder Fremdkapital getätigt wird. Bei einer konkreten praktischen Anwendung müsste dieser Punkt entsprechend berücksichtigt werden. Ebenfalls finden steuerliche Auswirkungen einer Investition keine Berücksichtigung. Zur Vertiefung dieser Punkte wird u. a. auf *Götze* (2014, S. 137-149) verwiesen.

Neben der vorgestellten Skalenthematik lassen sich bei der Beurteilung von Investitionen weitere Kategorien unterscheiden. Eng daran angelehnt ist die Bewertung der Vorteilhaftigkeit (vgl. *Götze*, 2014, S. 55):

- Absolute Vorteilhaftigkeit: Die Investition ist der Unterlassungsalternative vorzuziehen.
- Relative Vorteilhaftigkeit: Die Investition ist die beste aller verfügbaren Alternativen.

Bei der Untersuchung von BIM-Anwendungsfällen muss somit berücksichtigt werden, ob ein AWF eine konventionelle Leistung (Unterlassungsalternative) vollständig ersetzt und damit seine absolute Vorteilhaftigkeit untersucht werden kann. Oder ob möglicherweise verschiedene Kombinationen von AWF dazu in der Lage sind die konventionelle Leistung zu ersetzen und somit zusätzlich ihre relative Vorteilhaftigkeit bewertet werden muss. Die absolute Vorteilhaftigkeit ist immer zu prüfen, die relative Vorteilhaftigkeit sollte zusätzlich bei mehreren verfügbaren Alternativen geprüft werden (vgl. *Pape*, 2018, S. 327).

Bezogen auf den Zeitpunkt ist es relevant, ob die Untersuchung vor oder nach der zu untersuchenden Maßnahme durchgeführt wird:

- Prospektive: Untersuchung erfolgt vor der Maßnahme (ex ante)
- Retrospektive: Untersuchung erfolgt nach der Maßnahme (ex post)

Während Ex-post-Untersuchungen mit tatsächlich eingetretenen Werten (sofern sie erfasst wurden) durchgeführt werden können, müssen bei Ex-ante-Untersuchungen Werte prognostiziert werden (vgl. *Wöhe et al.*, 2016, S. 474). Sie dienen somit der Entscheidungsfindung, wohingegen die Retrospektive vor allem eine Kontrollfunktion hat (vgl. *Schilling Miguel*, 2017,

S. 10). Allerdings bietet die Prospektive den Vorteil, dass benötigte Kennwerte zuvor definiert und anschließend erfasst werden können, wohingegen die Retrospektive nur mit den erfassten Kennwerten durchgeführt werden kann.

Weiterhin kann der zeitliche Bezug unterschiedlich betrachtet werden:

- Statisch
- Dynamisch

Statische Verfahren berücksichtigen andere Perioden nicht, bei dynamischen Verfahren finden diese hingegen Berücksichtigung (vgl. *Thommen et al.*, 2017, S. 48). Beispielsweise müssen Zahlungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen auf- oder abgezinst und damit auf einen einheitlichen Zeitpunkt vergleichbar gemacht werden (vgl. *Wöhe et al.*, 2016, S. 484). Dynamische Verfahren liefern somit genauere Ergebnisse, sofern der jeweilige Zinssatz zutreffend gewählt wurde.

Unabhängig von der Aussagekraft über das Untersuchungsergebnis selbst (die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme bzw. hier die Wirtschaftlichkeit eines AWF) wird deutlich, dass bereits die Wahl des einzusetzenden Verfahrens insofern schwierig ist, „als man sich über die Aussagegenauigkeit im Klaren sein muss und diese wiederum mit mehr oder weniger hohen Erhebungskosten verknüpft sein wird“ (*Eichhorn* und *Merk*, 2016, S. 263).

Die Notwendigkeit der Erhebung greift *Schumann* (1993, S. 169 f.) auf und differenziert Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung in zwei Gruppen:

- Verfahren zur Wirkungsbeurteilung: Können als Rechen- und Beschreibungsverfahren bezeichnet werden. Sie gehen davon aus, dass benötigte Daten zur Durchführung des jeweiligen Verfahrens vorhanden sind.
- Verfahren zur Wirkungsbestimmung: Können als Erhebungs- und Bewertungsverfahren bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um umfassendere Verfahren, die schwerpunktmäßig auch die eigentliche Datenerhebung berücksichtigen, um im Anschluss entsprechende Bewertungen durchführen zu können.

Im Hinblick auf die Untersuchung von AWF bedeutet es, dass Verfahren zur Wirkungsbestimmung als geeigneter erscheinen, da i.d.R. die benötigen Daten zunächst erfasst werden müssen. Lägen diese hingegen bereits vor, sind insbesondere unter Berücksichtigung des Bewertungsaufwandes Verfahren zur Wirkungsbeurteilung vorzuziehen. Die Wahl eines geeigneten Verfahrens hängt allerdings auch von der Art des zu untersuchenden Aufwands und Nutzens ab (quantitativ oder qualitativ bestimmbar). Anzumerken ist, dass es in der Literatur teilweise tiefergehende und leicht abweichende Ansätze zur Unterscheidung der Verfahren gibt. Beispielhaft wird dazu auf *Irani* (1998, S. 31); *Krcmar* (2015, S. 482) *Walter* und *Spitta* (2004) sowie *Wieczorrek* und *Mertens* (2011, S. 260-284) verwiesen. Im Rahmen dieser Arbeit wird dies jedoch nicht weiter vertieft.

Des Weiteren ist es von Bedeutung zu berücksichtigen, wie weitreichend die Verfahren Kosten erfassen bzw. Nutzen berücksichtigen. Es ist daher sinnvoll Betrachtungsebenen festzulegen. Dieser Ansatz geht zurück auf *Mertens* (1982), der betriebswirtschaftliche Nutzeffekte und Schäden untersucht. Er differenziert dabei in vier verschiedene Ebenen:

- Individualebene/einzelne Person
- Mikroebene/Unternehmen
- Makroebene/Umwelt
- Globalebene/Menschheit

Diese Differenzierungen wurden von *Picot* und *Reichwald* (1984, S. 105-107) aufgegriffen und zu ihrem „vierstufigen Wirtschaftlichkeitsmodell" weiterentwickelt, bei dem ebenfalls eine viergeteilte Abstufung erfolgt. Weitere Ausführungen finden sich bei *Niemeier* (1988), *Nagel* (1990) und *Schumann* (1993, S. 170-177). Für diese Arbeit erfolgt eine leichte Abwandlung. Es werden die folgenden drei Ebenen festgelegt und hinsichtlich ihrer Wirkungen (Kosten und Nutzen) unterschieden:

- Arbeitsplatzebene: Bereichsbezogene Wirkungen
- Mikroebene: Wirkungen in angrenzenden Bereichen innerhalb des Projekts oder Unternehmens
- Makroebene: Projekt- oder unternehmensübergreifende Wirkungen

Wirkungen können auch in unterschiedlichen Ebenen und übergreifend betrachtet werden. Beispielsweise können Kosten für die Arbeitsplatzebene erfasst und der resultierende Nutzen auf der Makroebene betrachtet werden.

Abschließend können Verfahren in Anlehnung an *Wieczorrek* und *Mertens* (2011, S. 284) sowie *Schumann* (1993, S. 170-176) hinsichtlich der Untersuchungsdimensionalität unterteilt werden:

- Eindimensionale Verfahren: Können auch als „klassische Verfahren“ der allgemeinen Betriebswirtschaftslehre bezeichnet werden und lassen sich weiter in statische und dynamische Verfahren unterteilen. Sie betrachten einen oder mehrere quantitativ bestimmbare Werte und liefern Aussagen in Form von Kennzahlen.
- Mehrdimensionale Verfahren: Diese Verfahren können in unterschiedlichem Umfang auch qualitative (nicht monetär messbare) Effekte berücksichtigen.

2.6.2 Vorgehensweise zur Identifikation geeigneter Verfahren

Um einen umfassenden Überblick über bestehende Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit zu erhalten, wurde mit Hilfe einschlägiger Literatur eine systematische Übersicht erarbeitet. Dazu wurde zunächst Grundlagenliteratur der Betriebswirtschaftslehre herangezogen und im nächsten Schritt um spezifischere Literatur aus dem Bauwesen und der IT ergänzt. Die beschriebenen Verfahren wurden tabellarisch aufgelistet, sofern sie als grundsätzlich relevant im Hinblick auf die Thematik dieser Arbeit eingestuft wurden. Beispielsweise fanden sich in der BWL- oder IT-Literatur auch Verfahren, die sich mit tiefgehenden finanzmathematischen Fragestellungen auseinandersetzen oder einen sehr speziellen Fokus auf die Entwicklung von Softwareprodukten haben. Diese Verfahren wurden nicht in die tabellarische Übersicht aufgenommen.

Tabelle 4 zeigt die verwendeten Quellen, die Zuordnung zu einer Disziplinenkategorie sowie die Anzahl der als grundsätzlich geeignet eingestuften

Verfahren, die in der jeweiligen Quelle genannt wurden. Fünf Quellen stammen aus dem Bereich der BWL. Diese wurden um eine bauspezifische sowie sieben IT-spezifische Quellen ergänzt. Insgesamt wurden durch diese Vorgehensweise 48 verschiedene Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit identifiziert. Die meisten Verfahren konnten bereits der ältesten Quelle (*Schumann* (1993)) entnommen werden.

Tabelle 4: Übersicht Literaturquellen zu Wirtschaftlichkeitsverfahren

Literaturquelle	**Kategorie**	**Anzahl geeigneter Verfahren**
Eichhorn und *Merk* (2016, S. 370-389)	BWL	12
Götze (2014, S. 55-248)	BWL	14
Pape (2018, S. 331-434)	BWL	7
Thommen et al. (2017, S. 341-354)	BWL	11
Wöhe et al. (2016, S. 476-510)	BWL	10
Möller und *Kalusche* (2013, S. 104)	Bauwesen	12
Greger et al. (2015, S. 8-12)	IT	10
Hirschmeier (2005)	IT	10
Krcmar (2015, S. 482-496)	IT	6
Kubicek und *Lofthouse* (2010, S. 125-143)	IT	8
Pietsch (2003)	IT	8
Schumann (1993, S. 172-177)	IT	17
Wieczorrek und *Mertens* (2011, S. 260-294)	IT	15

2.6.3 Differenzierungs- und Auswahlkriterien

Das vorherige Kapitel zeigt, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit bzw. zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit einer Investition zur Verfügung steht. Mit jeweils 11 von 13 möglichen Nennungen wurden die Methode des internen Zinsfußes und die Kapitalwertmethode am häufigsten beschrieben. Insgesamt wurden 21 weitere Verfahren mehr als einmal genannt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass 25 Verfahren jeweils nur einmal erwähnt wurden.

Um die Verfahren besser im Hinblick auf die Anwendbarkeit zur Bewertung von AWF priorisieren zu können, werden in diesem Kapitel Kriterien erarbeitet, anhand derer eine tiefergehende Kategorisierung erfolgt. Als Kriterien werden dabei zunächst die Unterscheidungen aus Kapitel 2.6.1 mit ihren jeweiligen Ausprägungsmerkmalen herangezogen. Tabelle 5 stellt sie zusammenfassend in alphabetischer Reihenfolge dar.

Tabelle 5: Kriterien zur Differenzierung von Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit

Unterscheidungskriterium	**Ausprägungsmerkmale**
Dimensionalität	Eindimensional Mehrdimensional
Erhebungsform	Wirkungsbeurteilung Wirkungsbestimmung
Messskala	Kardinal Ordinal Nominal
Vorteilhaftigkeit	Absolut Relativ
Wirkungsebene	Arbeitsplatz Mikro Makro
Zeitlicher Bezug	Statisch Dynamisch
Zeitpunkt	Prospektiv Retrospektiv

Die Übersicht ist nicht abschließend, denn es können individuell weitere Kriterien zur Bewertung herangezogen werden. Beispielsweise schlägt *Pietsch* (2003, S. 49) vor, folgende weitere Kriterien zu berücksichtigen:

- wie aufwendig der Einsatz des Verfahrens ist,
- wie flexibel das Verfahren bei veränderten Anforderungen ist,
- welche technische Unterstützung das Verfahren bietet,
- welche praktischen Erfahrungen mit dem Verfahren bestehen und
- was bewertet wird.

Allerdings können diese Fragen nur bedingt objektiv beantwortet werden, da zum einen keine pauschalen Angaben bspw. zum Einsatzaufwand existieren

und zum anderen praktische Erfahrung im Rahmen dieser Arbeit nicht als notwendige Bewertungsvoraussetzung angesehen wird bzw. bei der Implementierung von BIM zwangsläufig nicht vorhanden ist. Wichtig hingegen ist zu berücksichtigen, was bewertet wird. Dazu wird unterschieden, ob das jeweilige Verfahren einen Fokus auf die Kosten- oder Nutzenseite hat oder ob es beide Seiten berücksichtigen kann.

Im Hinblick auf die Anwendbarkeit der identifizierten Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit eines AWF bzw. BIM unter Vernachlässigung des Erhebungs- und Bewertungsaufwands ist das ideale Verfahren wie folgt zu beschreiben:

Es kann im Vorfeld (prospektiv) unter Berücksichtigung eines dynamischen zeitlichen Bezugs den Aufwand und Nutzen des AFW bzw. BIM mehrdimensional kardinal auf Arbeitsplatz, Mikro- und Makroebene bestimmen und die Vorteilhaftigkeit absolut und relativ angeben.

Im Umkehrschluss wäre das schlechteste Verfahren im Hinblick auf die vorgestellten Kriterien ein Verfahren, dass nur in der Rückschau (retrospektiv) ohne Berücksichtigung zeitlicher Veränderungen (statisch) den Aufwand oder Nutzen des AFW bzw. von BIM eindimensional nominal auf einer Ebene ermitteln und die Vorteilhaftigkeit absolut angeben kann.

Damit die identifizierten Verfahren systematisch bewertet werden können, wird jedem Ausprägungsmerkmal ein Punktwert zugewiesen. Zudem können die vorgestellten Ausprägungsmerkmale in verschiedenen Kombinationen vorkommen. Beispielsweise können einzelne Verfahren die Vorteilhaftigkeit nicht entweder nur absolut oder nur relativ angeben, sondern absolut und relativ. Ebenso gibt es bestimmte Verfahren, die alle Wirkungsebenen berücksichtigen. Um diese Unterschiede der Verfahren bei einem Vergleich zu berücksichtigen, wurden die jeweiligen Punktwerte gemäß Tabelle 6 festgelegt. Zusätzlich ist dort in den beiden Spalten am rechten Rand die Bewertung der zuvor am besten (BV) und am schlechtesten geeigneten (SV) theoretischen Verfahren dargestellt. Der maximale Gesamtpunktwert beträgt folglich 8,0. Der minimale Wert beläuft sich auf 3,5.

Die genaue Einteilung kann kritisch hinterfragt werden und darf nicht als allgemeingültige Bewertung der Verfahren verstanden werden. Vielmehr handelt es sich um einen Näherungsversuch, besser und schlechter geeignetere Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM zu ermitteln.

Mit Hilfe der vorgestellten Punktwerte aus Tabelle 6 werden alle 48 identifizierten Verfahren im folgenden Kapitel 2.6.4 bewertet und miteinander verglichen.

Tabelle 6: Bewertete Ausprägungsmerkmale von Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit

Ausprägungsmerkmale und Merkmalkombinationen	**Punkte-wert**	**Beste Verfahren**	**Schlechteste Verfahren**
Aufwand Nutzen Aufwand + Nutzen	0,5 0,5 1,0	 1,0	0,5 oder 0,5
Eindimensional Mehrdimensional	0,5 1,0	 1,0	0,5
Wirkungsbeurteilung Wirkungsbestimmung	0,5 1,0	 1,0	0,5
Kardinal Ordinal Nominal	1,0 0,5 0,0	1,0	 0,0
Absolut Relativ Absolut + relativ	0,5 0,5 1,0	 1,0	0,5 oder 0,5
Arbeitsplatz Mikro Makro Arbeitsplatz + Mikro + Makro	0,5 0,5 0,5 1,0	 1,0	0,5 oder 0,5 oder 0,5
Statisch Dynamisch Statisch + dynamisch	0,5 0,5 1,0	 1,0	0,5 oder 0,5
Prospektiv Retrospektiv Prospektiv + retrospektiv	1,0 0,5 1,0	1,0 oder 1,0	 0,5
SUMME		**8,0**	**3,5**

2.6.4 Übersicht geeigneter Verfahren

Insgesamt acht Verfahren erreichen eine Bewertung von 7,0 und damit 87,5 % der theoretisch möglichen Maximalbewertung. Es handelt sich dabei um die Verfahren:

- Amortisationsrechnung (9)
- Annuitätenmethode (8)
- Endwertmethode (2)
- Excess Tangible Cost Methode (1)
- Interne Zinsfuß-Methode (11)
- Kapitalwertmethode (11)
- Multi-Attributive Nutzentheorie (1)
- Sensitivitätsanalyse (6)

Der Wert in der Klammer gibt die Anzahl der Nennungen in den 13 verwendeten Literaturquellen an. Die Auflistung selbst erfolgt in alphabetischer Reihenfolge. Insgesamt sieben weitere Verfahren erreichen eine Bewertung von 6,5 und werden somit ebenfalls als geeignete Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von AWF eingestuft:

- Analytischer Hierarchie Prozess (1)
- Arbeitssystemwertermittlung (2)
- Barwertmethode (2)
- Benchmarking (2)
- Capability Maturity Framework (1)
- PROMOTHEE (1)
- Rentabilitätsrechnung (10)

13 Verfahren erreichen mit 6,0 immerhin noch 75 % der möglichen Gesamtpunktzahlt. Ebenfalls 13 weitere Verfahren erreichen 5,5 Punkte, gefolgt von sechs Verfahren mit einer Bewertung von 5,0. Die geringste Bewertung erreichen mit einem Wert von 4,5:

- Analogienmethode (1)
- Time-Saving-Time-Salary Verfahren (2)

Die vollständige Übersicht der 48 Verfahren inkl. ihrer Bewertung und einer Kurzbeschreibung findet sich in Anhang A. Relevante Funktionsweisen der einzelnen Verfahren im Hinblick auf die Anwendung zur Bewertung von BIM und AWF werden in Kapitel 7 vorgestellt.

3 Bestehende Untersuchungen zu Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit von BIM

3.1 Vorgehensweise zur Identifikation der Untersuchungen

Ziel des Kapitels 0 ist es, bestehende Untersuchungen, die sich mit Aufwänden, Nutzen und der Wirtschaftlichkeit von BIM auseinandersetzen, zu ermitteln, um einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu erhalten. Dazu wurden in den Jahren 2016 bis 2019 im Wesentlichen mit Hilfe der folgenden Suchportale (Nennung in alphabetischer Reihenfolge) recherchiert und entsprechende Newsletter abonniert (sofern verfügbar):

- American Society of Civil Engineers (ASCE) Library
- Bielefeld Academic Search Engine (BASE)
- Google Scholar
- Karlsruher Virtueller Katalog (KVK)
- Microsoft Academic
- ScienceDirect
- Scopus
- Web of Science

Die Suchbegriffe umfassten neben „BIM“, „Aufwand“, „Kosten“, „Nutzen“, „Ertrag“ und „Wirtschaftlichkeit“ sowie deren englischen Übersetzungen auch unterschiedliche Kombinationen, Trunkierungen und Derivate. Als Derivat von „Wirtschaftlichkeit“ wurde beispielsweise der Begriff „unternehmerischer Vorteil“ oder „Performance“ verwendet und „Nutzen“ durch „Einsparung“ oder „Benefit“ ersetzt. Mit Hilfe von Trunkierungen kann ein Wortstamm als Suchbegriff verwendet werden. Dieser Wortstamm wird

durch unterschiedliche Trunkierungszeichen ergänzt. Sie sind abhängig von der verwendeten Suchmaschine. Beispielsweise kann bei Google das Symbol * als Platzhalter verwendet werden. Eine Suche nach „Koste*“ liefert dann auch Ergebnisse zu „Kosten“ oder „Kosteneinsparung“. Kombinationen gehen im Wesentlichen auf die Booleschen Operatoren gemäß Abbildung 17 zurück.

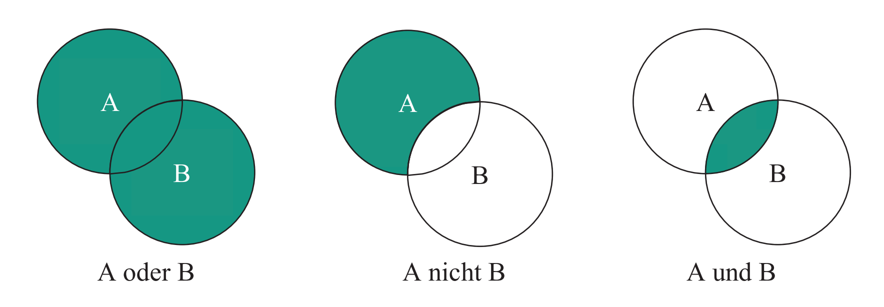


Abbildung 17: Boolesche Operatoren

Allerdings lassen Suchmaschinen noch weitere Kombinationen zu. So kann beispielsweise nach Veröffentlichungen in einem bestimmten Zeitraum oder nur nach der Begriffsnennung im Titel gesucht werden.

Für jede dadurch erfasste Publikation wurde anhand des Titels und des Abstracts (sofern vorhanden) entschieden, ob es sich um eine relevante Publikation handelt oder nicht. Relevante Publikationen wurden in der Literaturverwaltungssoftware Citavi abgelegt. Im Zeitverlauf wurden zusätzlich Publikationen abgelegt, die durch andere Informationsquellen identifiziert wurden. Dazu zählen beispielsweise:

- Soziale Netzwerke (Xing/LinkedIN)
- Persönliche Kontakte
- Beiträge aus Tagungsbänden von besuchten Veranstaltungen
- Literaturverzeichnisse aus Abschlussarbeiten

Insgesamt wurden dadurch über 500 Publikationen in Citavi erfasst, wovon 125 konkret als relevante Literatur eingestuft und mit Schlagworten versehen wurden.

Bei genauerer Betrachtung der Publikationen zeigte sich, dass diese grob in vier Kategorien unterteilbar sind. Die Kategorie „Umfragen und Interviews“ (vgl. Kapitel 3.3.1) betrachtet Untersuchungen, die mittels Umfragen oder Interviews durchgeführt wurden. Es erfolgt somit keine konkrete Untersuchung eines einzelnen Projektes, sondern es werden persönliche Einschätzungen der Befragten erfasst, kategorisiert und ausgewertet. Die Kategorie „Fallstudien“ (vgl. Kapitel 3.3.2) beschreibt Forschungsarbeiten, die einzelne Projekte untersuchen oder vergleichen. Dabei handelt es sich in der Regel um Vergleiche zwischen BIM-Projekten und Nicht-BIM-Projekten. Die Kategorie „Modellansätze“ (vgl. Kapitel 3.3.3) beinhaltet Arbeiten, die existierende Modelle adaptieren oder neue Modelle entwickeln, um Aussagen über den Aufwand, Nutzen oder die Wirtschaftlichkeit von BIM treffen zu können. Abschließend setzt sich die Kategorie „Sonstige“ (vgl. Kapitel 3.3.4) aus Quellen zusammen, die keiner der drei zuvor genannten Kategorien zugeordnet werden konnten.

Um sicherzustellen, dass möglichst alle relevanten deutsch- und englischsprachigen Publikationen erfasst werden, wurden die bisherigen Suchergebisse abgeglichen und mit Hilfe von detaillierten Recherchemethoden wie z. B. Vorwärts- und Rückwärtssuchen[1] ergänzt (vgl. *Daub*, 2018). Im Frühjahr des Jahres 2019 wurde der Literaturbestand erneut analysiert und mit Schlagworten versehen. Die Zuweisung der Schlagworte erfolgte sinngemäß und sofern möglich anhand des Titels (wenn das (sinngemäße) Schlagwort bereits im Titel genannt wurde), andernfalls durch Lesen des Abstracts. Wenn danach die Entscheidung nicht möglich war, wurde das jeweilige Dokument gelesen und danach entschieden. Die Verwendung der Schlagworte kann kritisch hinterfragt werden, da beispielsweise „ROI“ als Teilmenge von „Nutzen“ oder „Kosten“ als Teilmenge von „Aufwand“ gesehen werden kann. Die Publikationen werden dadurch auf unterschiedlichen Granularitätsstufen er-

[1] Bei der Rückwärtssuche wird das Literaturverzeichnis der Startartikel betrachtet und darüber nach weiterer relevanter Literatur gesucht. Der Nachteil ist, dass dadurch nur ältere Beiträge gefunden werden können. Die Vorwärtssuche schafft Abhilfe, in dem danach gesucht wird, in welchen Beiträgen der als zentral eingestufte Beitrag zitiert wird. Somit werden neuere Beiträge gefunden. (Vgl. *Kornmeier* 2018, S. 89–93).

fasst, was bei einer vergleichenden Auswertung der Schlagworte entsprechend berücksichtigt werden muss. Dennoch wurde an dieser Stelle die Entscheidung getroffen, keine weitere Zusammenfassung vorzunehmen, um eine möglichst hohe Differenzierung (sofern möglich) zu erzielen. Beschäftigt sich eine Publikation z. B. konkret mit dem ROI, so ist es zweckmäßiger, diesen konkreten Inhalt auch darstellen zu können, anstatt ihn in der allgemeineren Kategorie zu subsumieren. Des Weiteren erfolgt eine Unterscheidung in Primär-, Sekundär- und Tertiärschlagworte. Eine Publikation muss mindestens ein Primärschlagwort aufweisen, um als relevant deklariert zu werden. Sekundärschlagworte helfen bei der weiteren Einordnung der jeweiligen Publikation und verbessern die Auswertungsmöglichkeiten im Hinblick auf die weiteren Bedarfe der vorliegenden Arbeit. Die Tertiärschlagworte entsprechen den vier vorgestellten Kategorien, wobei eine Publikation zwangsläufig nur in die Kategorie „Sonstige“ eingeordnet wird, wenn sie nicht mindestens einer der drei anderen Kategorien zugeordnet werden kann.

Tabelle 7: Schlagworte zur Erfassung relevanter Literatur

Primärschlagworte	**Sekundärschlagworte**	**Tertiärschlagworte**
Aufwand	Anwendungsfall	Fallstudie
Kosten	Implementierung	Umfrage/Interview
Nutzen	Messen	Modellansatz
Performance	Reifegrad	Sonstige
Potenzial		
ROI		
Value		

3.2 Gesamtübersicht

Insgesamt wurden 125 Publikationen mit mindestens einem Primärschlagwort und ggfs. weiteren Schlagworten erfasst. 20 % (25 Quellen) der Literatur ist deutschsprachig, 80 % (100 Quellen) englischsprachig. Die älteste Publikation stammt aus dem Jahr 1998. Bereits damals beschäftigten sich *Koo* und *Fischer* (1998) mit dem Nutzen der 4D-Terminplanung (3D CAD + Zeit). Sie waren es auch, die die zweite Publikation zu der Thematik veröffentlichten (vgl. *Koo* und *Fischer*, 2000). Für die nächsten fünf Jahre wurde keine Publikation gefunden, die sich weitergehend mit diesem Gebiet befasst. Danach allerdings nahm die Häufigkeit deutlich zu und erreichte mit 18 Publikationen im Jahr 2014 ihren bisherigen Höhepunkt. Abbildung 18 zeigt die gesamte Entwicklung im zeitlichen Verlauf.

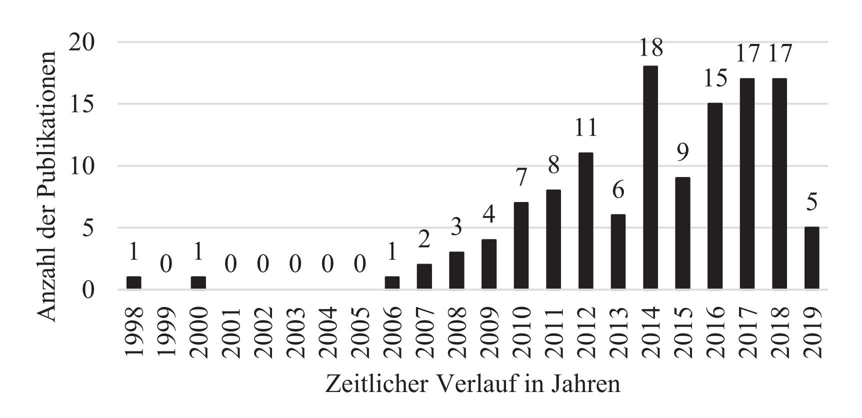


Abbildung 18: Anzahl der Publikationen zu Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit von BIM im zeitlichen Verlauf

Ebenfalls interessant und vor allem wichtig zur Einschätzung der Bedeutung der Quelle ist der Dokumententyp. Die Verteilung zeigt Abbildung 19.

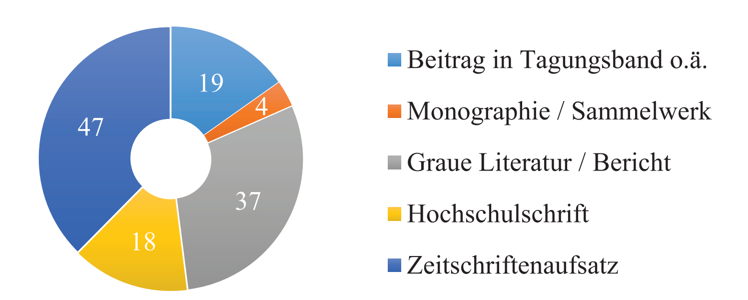


Abbildung 19: Absolute Anzahl der Publikationen zu Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit von BIM nach Dokumententyp

30 % (37 von 125) der verwendeten Quellen fallen in den Bereich Graue Literatur[2]/Bericht. Aus diesem Grund ist eine sorgfältige Prüfung der Inhalte notwendig (vgl. *Bortz* und *Döring*, 2015, S. 360). Gleichzeitig kann der hohe Anteil an grauer Literatur aber auch als Indiz für die Aktualität des Themas gesehen werden, da die Veröffentlichung in einer Monographie oder einer wissenschaftlichen Zeitschrift i.d.R. länger dauert. Diese These stützt gleichzeitig der mit 3 % (4 von 125) geringe Anteil an Monographien und Sammelwerken. *Bortz* und *Döring* (2015, S. 360) zählen zur Grauen Literatur auch Bachelor- und Masterarbeiten. Von dieser Einteilung wurde hier abgewichen. Die 14 % (18 von 125) an Hochschulschriften setzen sich zusammen aus 2 Bachelorarbeiten, 1 Diplomarbeit, 18 Masterarbeiten und 3 Dissertationen.

Die größte Bedeutung bei zugleich hoher Aktualität (sofern die Beiträge ein aktuelles Datum haben) liefern die Aufsätze aus wissenschaftlichen Zeitschriften, da sie i.d.R. zuvor begutachtet und nur bei entsprechender Relevanz des Beitrags freigegeben werden. Mit einem Anteil von 38 % (47 von 125) finden sich in dieser Kategorie die meisten Publikationen. Die vorhandene Datenbasis liefert somit eine Vielzahl an relevanten Informationen. 11 % (5 von 47) der Zeitschriftenaufsätze sind deutschsprachig, wovon je zwei Beiträge in der „Bautechnik“ und im „Bauingenieur“ erschienen sind, ein Beitrag

[2] Nach *Bortz* und *Döring* (2015, S. 360) handelt es sich dabei um interne Paper und Skripte, Forschungsberichte, Schriftenreihen, Vorträge etc., die von Forschungseinrichtungen oder Einzelpersonen selbst vervielfältigt werden und nicht öffentlich in Verlagen erscheinen, dennoch aber teilweise in Bibliotheken verfügbar sind.

stammt aus „Wirtschaftsinformatik & Management". Die relevantesten Journale für diese Arbeit (in Klammern Anzahl der hier verwendeten Beiträge) waren:

- Automation in Construction (7)
- Journal of Construction Engineering and Management (5)
- Journal of Building Information Modeling (3)
- Journal of Computing in Civil Engineering (3)
- Journal of Information Technology in Construction (2)

Abbildung 20 zeigt die Verteilung der 125 Publikationen über die vier Kategorien (Tertiärschlagworte).

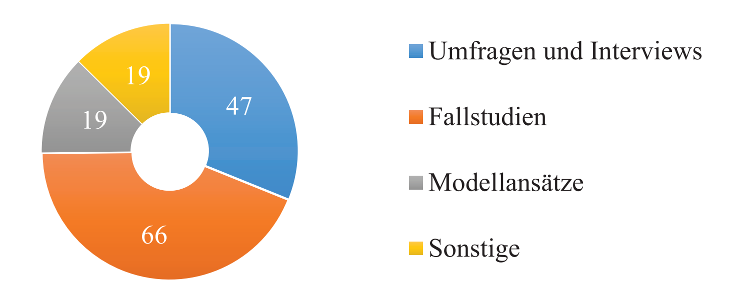


Abbildung 20: Anzahl der Publikationen zu Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit von BIM nach Kategorie (absolute Verteilung)

Dabei ist anzumerken, dass eine Publikation auch in mehrere Kategorien fallen kann. Beispielsweise wurde versucht aus Fallstudien einen Modellansatz abzuleiten oder Umfragen wurden durch Fallstudien ergänzt. Aus diesem Grund beträgt die Summe aus Abbildung 20 nicht 125 sondern 151 (47 Umfragen und Interviews + 66 Fallstudien + 19 Modellansätze + 19 Sonstige).

Es stellt sich die Frage, welche der 125 Quellen ggf. am relevantesten ist. Insgesamt 26 Publikationen wurden zwei Kategorien zugewiesen (sowohl 13 den Kategorien Fallstudien + Modellansätze, als auch 13 den Kategorien Fallstudie + Umfragen und Interviews). Wird eine Publikation zwei Kategorien zugewiesen, kann dies als Indikator für deren Relevanz gesehen werden.

Die meisten Schlagworte (8 Stück) wurden dem Beitrag von *Won* und *Ghang* (2016) zugeordnet, der zugleich den Modellgedanken für diese Arbeit liefert und am Ende von Kapitel 3.3.3 genauer vorgestellt wird. Insgesamt 10 weiteren Beiträgen wurden jeweils 6 Schlagworte zugeordnet. Kein Beitrag hat weniger als zwei Schlagworte, was zugleich logisch ist, da ein hier verwendeter Beitrag, wie eingangs erwähnt, mindestens ein Primär- und ein Tertiärschlagwort aufweisen muss.

108 von 125 Beiträgen (86 %) thematisieren den Nutzen von BIM, 29 davon speziell in Form des ROI. In Anhang B sind alle 125 Quellen in Form einer tabellarischen Übersicht mit Zuordnung der Schlagworte aufgeführt. Die folgenden vier Kapitel (3.3.1 bis 3.3.4) fassen wesentliche und für diese Arbeit relevante Inhalte zusammen.

3.3 Wesentliche Inhalte und Ergebnisse

3.3.1 Umfragen und Interviews

Eine der ältesten deutschsprachigen Publikationen und zugleich eine sehr umfassende Untersuchung stammt aus dem Jahr 2012 von *Both et al.* (2012). Sie haben u. a. elf Hypothesen zu den Hemmnissen und sechs Hypothesen zu den Potenzialen von BIM beschrieben, um weitere Fragen ergänzt und eine Umfrage erstellt, an der 142 Personen vollständig teilgenommen haben (vgl. *Both et al.*, 2012, S. 49). Exemplarisch wird hier die Frage „Der Aufwand für die Erstellung von digitalen Gebäudemodellen übersteigt den Nutzwert“ hervorgehoben. Dieser Frage konnte „zu 0 %“, „zu 25 %“, „zu 50 %“, „zu 75 %“ oder „zu 100 %“ zugestimmt werden (vgl. *Both et al.*, 2012, S. 170). Während 95 % der Nicht-BIM-Anwender zu 50 % und mehr zustimmen, reduziert sich dieser Wert bei den Umsteigewilligen auf 63 % und sinkt bei den BIM-Anwendern auf 29 % (vgl. *Both et al.*, 2012, S. 170). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Mehrheit der BIM-Anwender die Meinung vertritt, dass der Aufwand für die Erstellung der Bauwerksmodelle den Nutzen nicht übersteigt und somit ein positives Nutzen-Aufwand-Verhältnis vorliegt.

Viele weitere englischsprachige und zum Teil deutschsprachige Umfrageergebnisse zur Wirtschaftlichkeit und Verbreitung von BIM stammen von Dodge Data & Analytics (ehemals McGraw Hill Construction) das zum US-amerikanischen Finanzdienstleistungskonzern S&P Global gehört, zu dem beispielsweise auch die Ratingagentur Standard & Poor's zählt. Als Unternehmen der Finanzbranche haben die Untersuchungen von S&P Global meistens einen Investitions- und Rendite-Schwerpunkt, so dass Einschätzungen zum ROI abgefragt werden. Es handelt sich dabei nicht um die Ermittlung tatsächlicher Projekt-ROI, sondern um geschätzte Renditen der BIM-Investitionen. Eine anerkannte Methode zur Berechnung des ROI von BIM existiert nicht (vgl. *McGraw-Hill Construction*, 2014b, S. 22). Die Einschätzungen der Teilnehmer, die somit als Richtwerte herangezogen werden können, zeigt Abbildung 21. Während 10 % der Befragten von einer negativen Rendite (< 0 %) ausgehen, erwarten 15 %, dass sich Investition und Gewinn ausgleichen (Rendite 0 %). In Summe schätzen somit 75 % der Befragten den ROI von BIM positiv (> 0 %) ein.

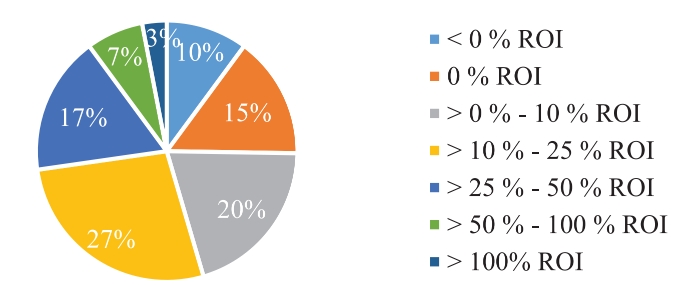


Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der geschätzten Rendite auf BIM-Investitionen nach Renditegrößeklassen gemäß McGraw-Hill Construction (2014b, S. 22)

Interessant und von der Tendenz her vergleichbar mit den Ergebnissen von *Both et al.* (2012, S. 170) ist die Einschätzung zur Rendite der BIM-Investitionen bei differenzierter Betrachtung des Anwendungsumfangs von BIM. Je größer der Anwendungsumfang ist, desto positiver wird der ROI eingeschätzt. Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse von *McGraw-Hill Construction* (2014b, S. 22). Während viermal so viele Befragte mit niedriger BIM-Umsetzung (16 % statt 4 %) einen negativen ROI erwarten, schätzen am anderen

Ende ebenfalls etwa viermal so viele Befragte mit hoher BIM-Umsetzung (50 % statt 11 %) den ROI größer als 25 % ein.

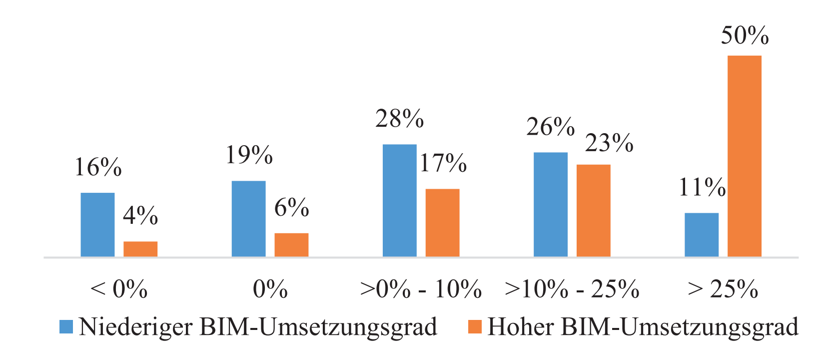


Abbildung 22: Geschätzte Rendite auf BIM-Investitionen nach Renditegrößeklassen und BIM-Umsetzungsgrad gemäß McGraw-Hill Construction (2014b, S. 22)

24 % der Befragten ermitteln ihre BIM-Investitionsrendite auf Projektebene nie, 35 % bestimmen sie bei bis zu einem Viertel ihrer Projekte. Weitere 25 % ermitteln sie bei bis zu jedem zweiten Projekt, 16 % bei mehr als jedem zweiten Projekt (vgl. McGraw-Hill Construction, 2014b, S. 24). Wie hoch diese tatsächlich ermittelten Projekt-ROI ausfallen und wie deren Verhältnisse zu den zuvor dargestellten geschätzten ROI ausfallen, wird nicht angegeben.Vergleichbare Untersuchungen mit speziellem Fokus auf Infrastruktur hat *Dodge Data & Analytics* (2017b) durchgeführt. Auch *Dodge Data & Analytics* (2017b, S. 38) hält fest, dass die Baubranche über keine standardmäßige Methode zur Messung des ROI von BIM verfügt. Weitere differenzierte Untersuchungen im Hinblick auf einzelne Projektbeteiligte oder Regionen finden sich ergänzend in den folgenden auszugsweise dargestellten Quellen:

- *McGraw-Hill Construction* (2010)
- *McGraw-Hill Construction* (2014a)
- *Dodge Data & Analytics* (2015)
- *Dodge Data & Analytics* (2017a)
- *Dodge Data & Analytics* (2018)

Hoffer (2018, S. 24) beschreibt die Ergebnisse einer Studie von Autodesk, wonach 21 % der Befragten den ROI messen, um eine Aussage über die Rendite der BIM-bezogenen Investitionen zu treffen, 54 % hingegen andere Faktoren heranziehen. Interessanterweise haben 7 % die Messung des ROI eingestellt, weil die Anwendung von BIM so routiniert und erfolgsbringend wurde, dass die Messung nicht mehr notwendig sei. Die übrigen 18 % der Befragten messen nicht. Unklar bleibt jedoch, wie die Messungen genau erfolgen.

Auch *Busker et al.* (2017) kommen in überwiegender Form zu dem Ergebnis, dass BIM-Nicht-Nutzer den Nutzen von BIM geringer einschätzen als BIM-Nutzer. So sind gemäß Abbildung 23 beispielsweise mehr BIM-Nutzer der Meinung, dass durch die Verwendung von BIM Bauwerkskosten und Personalkosten abnehmen als BIM-Nicht-Nutzer. Einzig bei den Fehlerkosten schätzen die BIM-Nicht-Nutzer die Abnahme mit 73% noch höher ein als die BIM-Nutzer.

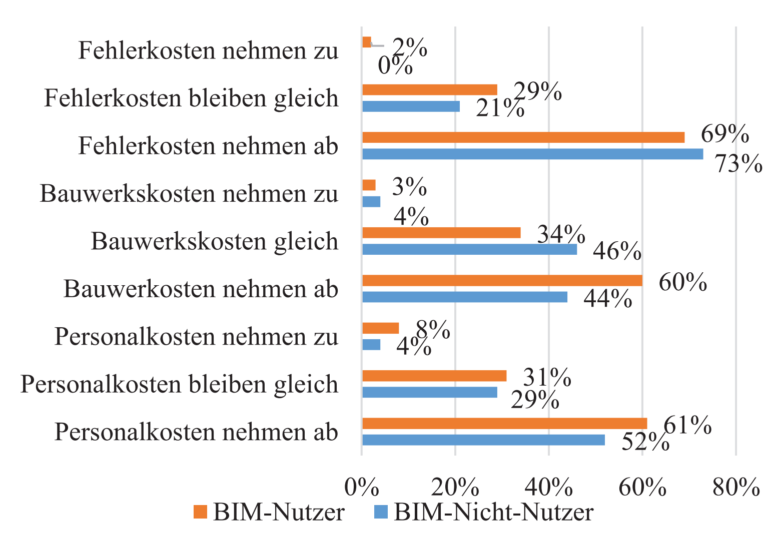


Abbildung 23: Einschätzungen der Wirkung von BIM auf verschiedene Kostenarten, differenziert nach BIM-Nutzern und BIM-Nicht-Nutzern gemäß *Busker et al.* (2017)

Zusammenfasend wird festgestellt, dass die überwiegende Anzahl der Befragten davon ausgeht, dass durch die Anwendung von BIM Kosten gesenkt werden können oder zumindest gleichbleiben.

McGraw-Hill Construction (2014b, S. 61) hat eine Umfrage unter 727 Mitarbeitern aus Bauunternehmen aus 10 Ländern (32 Teilnehmer aus Deutschland) durchgeführt. Danach sind die fünf größten Vorteile von BIM in absteigender Reihenfolge (vgl. *McGraw-Hill Construction*, 2014b, S. 19):

- Weniger Fehler und Versäumnisse
- Bessere Zusammenarbeit mit Bauherren/Architekten
- Imagesteigerung
- Weniger Nacharbeiten
- Geringere Baukosten

Ähnliche Ergebnisse erzielen beispielsweise auch Umfragen von *Becerik-Gerber* und *Rice* (2010), *Conject AG* (2016), *Golinski* (2018), *Bialas et al.* (2019, S. 233-235) oder *PricewaterhouseCoopers* (2019, S. 30-33). *Vass* (2016) stellte nach einer Auswertung weiterer bestehender Veröffentlichungen zum Nutzen von BIM fest, dass sich die Angaben zu erzielbaren Nutzen häufig ähneln. Sie stellt daher die Frage, ob es ggfs. bestimmte und typische Nutzenkategorien von BIM gibt. Im Ergebnis konnte sie 15 häufig vorkommende Nutzen erfassen und hat diese in einer Onlineumfrage[3] bewerten lassen. Durch eine anschließende Faktorenanalyse hat sie festgestellt, dass die Nutzen zwei Kategorien zuordenbar sind. Die Kategorien sind nachfolgend, ergänzt um typischerweise in diesen Kategorien vorkommende Nutzen, dargestellt (vgl. *Vass*, 2016, S. 6 f.):

- Kategorie 1 (Nutzen die sich auf den Projektfortschritt/-prozess beziehen), wie beispielsweise
  - Weniger Modifizierungen
  - Verbesserte Koordination
  - Weniger Konflikte
  - Höhere Herstellungsqualität
  - Verbesserte Kundenzufriedenheit

[3] 988 Personen zur Umfrage eingeladen, 234 haben geantwortet (vgl. *Vass* 2016, S. 5).

    - Genauere Terminvorhersagen
    - Verbessertes Verständnis über die Projektziele
- Kategorie 2 (Nutzen die sich auf das Projektergebnis beziehen), wie beispielsweise
    - Höhere Gewinne
    - Geringere Gesamtkosten
    - Frühere Fertigstellung
    - Verbesserte Produktivität
    - Verbesserter Energieverbrauch
    - Erschließung neuer Geschäftsfelder/Kunden
    - Verbesserte Arbeitssicherheit

Vass (2016) liefert damit belastbare Informationen über potentiell mit BIM erzielbare Nutzen. Sie führt in diesem Bereich weitere Untersuchungen durch und bringt sie abschließend in Form einer kumulativen Dissertation zusammen (vgl. *Vass*, 2017). Die Arbeiten bilden somit eine gute Basis zur Erfassung allgemeiner Nutzen von BIM. Eine differenzierte Betrachtung auf Ebene der AWF führt sie allerdings nicht durch.

Die bisher vorgestellten Umfragen beziehen sich somit im Wesentlichen auf eine Gesamtbetrachtung von BIM in Unternehmen oder Projekten. Tabelle 8 zeigt daher in absteigender Reihenfolge die Top 5 der Umfrageergebnisse von *McGraw-Hill Construction* (2014b, S. 32-34) im Hinblick darauf, welche sog. „BIM-Aktivitäten“ (die überwiegend als AWF verstanden werden können) in Planung und Bauvorbereitung sowie während der Bauphase als am wichtigsten angesehen werden.

Tabelle 8: Wichtigste BIM-Aktivitäten in Planungs- und Bauphase nach McGraw-Hill Construction (2014b, S. 32-34)

Planung und Bauvorbereitung	**Bauphase**
Koordination zwischen mehreren Gewerken	Modellgestützte Entwürfe auf der Baustelle
Visualisierung der Entwurfsidee	Modellgestützte Vorfertigung
Modellierung für Machbarkeitsanalysen	Überwachung des Baufortschritts
Mengenbestimmung anhand von Modellen	AR zur gleichzeitigen Visualisierung von Modell und tatsächlichen Bedingungen
Integration des Modells mit Zeitplan (4D)	Laserscanning während Ausführung zur Sicherstellung der Einhaltung von Modellvorgaben

Auch *Bahlau* und *Klemt-Albert* (2018) haben basierend auf einer Onlineumfrage unter 28 BIM-Experten, Aufwand und Nutzen differenziert für einzelne AWF und zusätzlich differenziert zwischen tatsächlichen Anwendern und Nicht-Anwendern des jeweiligen AWF ermittelt. Unter der Annahme[4], dass der von *Bahlau* und *Klemt-Albert* (2018) ermittelte Aufwand sich aus Implementierungsaufwand und Anwendungsaufwand zusammensetzt, kann mit Hilfe der bereits vorgestellten Formel 9 das Nutzen-Aufwand-Verhältnis gebildet werden, indem die ermittelten Nutzen durch die Aufwände dividiert werden. Ein Wert größer 1,0 bedeutet ein positives Nutzen-Aufwand-Verhältnis, der Nutzen übersteigt den Aufwand. Die Ergebnisse dieser Berechnungen zeigt Abbildung 24. Die grün dargestellte vertikale Linie zeigt den Wechsel vom negativen in das positive Nutzen-Aufwand-Verhältnis.

[4] *Bahlau* und *Klemt-Albert* (2018) machen dazu keine Angabe.

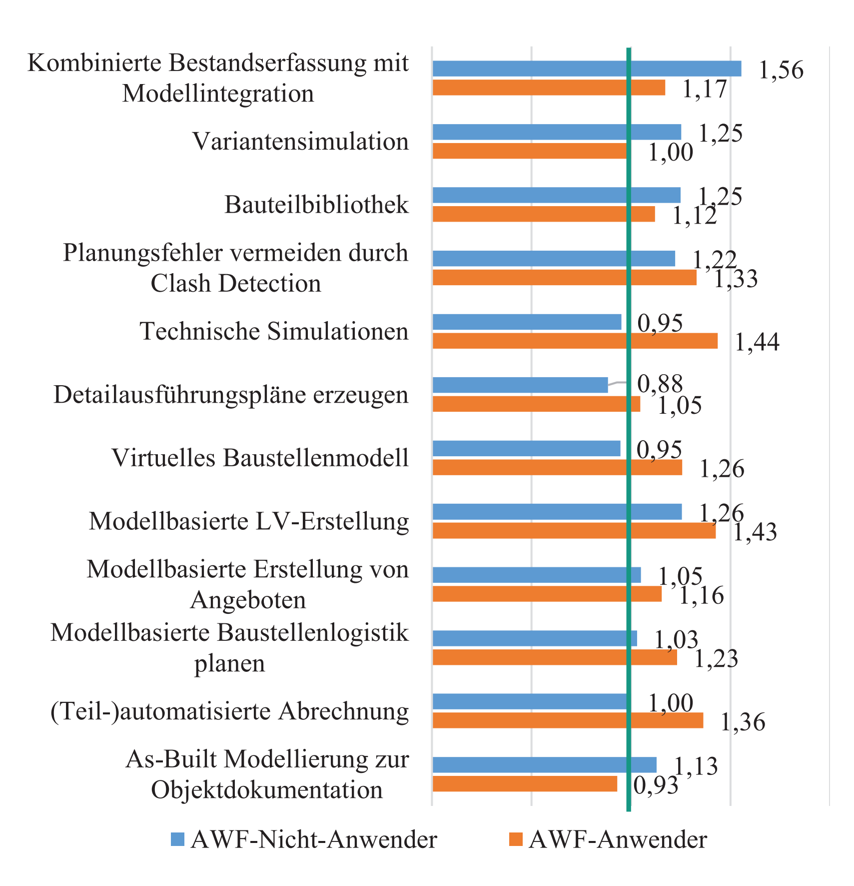


Abbildung 24: Nutzen-Aufwand-Verhältnis von AWF basierend auf Daten von *Bahlau* und *Klemt-Albert* (2018, S. 291)

Aus Sicht der AWF-Nicht-Anwender hat der AWF „Kombinierte Bestandserfassung mit Modellintegration" den größten Nutzen im Verhältnis zum Aufwand. „Technische Simulationen" sind hingegen für die Anwender des AWF der Teil von BIM mit dem größten Nutzen-Aufwand-Verhältnis. Interessant ist der Mittelwert von allen AWF. Während dieser bei den AWF-Anwendern 1,21 beträgt, liegt der Mittelwert der AWF-Nicht-Anwender mit 1,13 fast 10 % darunter. Dieses Ergebnis passt zu den bisher vorgestellten

Untersuchungen. Das Potenzial von BIM wird von den Nicht-Anwendern fast immer geringer eingeschätzt als von den Anwendern.

Ebenfalls interessant ist, dass von den AWF-Anwendern nur die „As-Built Modellierung zur Objektdokumentation" ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis < 1,0 aufweist, alle anderen AWF erreichen stets ein Wert > 1,0. Wohingegen die AWF-Nicht-Anwender immerhin drei AWF mit einem Wert kleiner 1,0 bewerten („Technische Simulationen", „Detailausführungspläne erzeugen" und „Virtuelles Baustellenmodell"). Die Erzeugung der Detailausführungspläne erreicht mit 0,88 das geringste Nutzen-Aufwand-Verhältnis insgesamt, was im Hinblick auf die grundlegende Arbeitsweise mit Bauwerksmodellen verwunderlich ist, denn Pläne können i.d.R. automatisch aus den Modellen abgeleitet werden und werden von anderen Autoren[5] häufig als leicht realisierbarer Nutzen von BIM beschrieben. Hierbei ist jedoch zu unterscheiden, welche Pläne abgeleitet werden. Je detaillierter diese Pläne sind (bspw. im Sinne eines steigenden Detaillierungsgrads in den HOAI Leistungsphasen), desto detaillierter muss auch das zugehörige Modell sein, wodurch der Modellierungsaufwand steigt. Zudem hängt der Aufwand von der verwendeten Software ab (vgl. *Baldwin*, 2018, S. 149 f.).

Suermann (2009) wählt in seiner Dissertation und gemeinsam in *Suermann* und *Issa* (2009) einen anderen Ansatz, um Informationen über den Nutzen von BIM zu erhalten. Er hat sechs KPI zusammengestellt, die in der Baubranche häufig verwendet werden und auf Basis mehrerer Umfragen und Interviews untersucht, welchen Einfluss BIM darauf hat. Bei den KPI handelt es sich in Anlehnung an *Suermann* (2009, S. 111) um:

- Qualität (gemessen durch Anteil der Kosten für Nacharbeiten bezogen auf die Projektkosten)
- Termintreue (gemessen in Form der Varianz der Projektdauer)
- Fläche pro Arbeitsstunde (geleistete m² pro Arbeitsstunde)
- Kostentreue (gemessen in Form der Varianz der Projektkosten)
- Sicherheit (gemessen in Anzahl der Ausfallstunden durch Unfälle)
- Kosten pro Fläche (gemessen in € pro m²)

[5] Vgl. hierzu beispielsweise *BIM4Infra2020* (2018, S. 20) oder *Hausknecht* und *Liebich* (2016, S. 160).

Im Ergebnis stellt er fest, dass bei der Anwendung von BIM das größte Potenzial darin besteht, die Qualität zu verbessern. Die Termintreue wird durch die Verwendung von BIM am zweit- und die Fläche pro Arbeitsstunde am drittgrößten beeinflusst bzw. verbessert (vgl. *Suermann*, 2009, S. 21). Eine Differenzierung auf Ebene der AWF findet jedoch auch hier nicht statt. Damit ist fraglich, bei welchem Anwendungsumfang von BIM die KPI entsprechend beeinflusst werden. Ebenso bleibt unklar, welchen Einfluss BIM tatsächlich auf die KPI besitzt, beispielsweise ausgedrückt in konkreten Zahlen aus Projekten. Daher erläutert das nächste Kapitel bestehende Fallstudien zur Wirtschaftlichkeit von BIM.

Abschließend wird auf die Arbeit und Umfrageergebnisse von *Wang* und *Song* (2017) eingegangen. Sie lösen sich vom klassischen Projektdenken und untersuchen die Zusammenhänge zwischen den durch BIM realisierbaren Nutzen und einer erfolgreichen Implementierung in Abhängigkeit der Zufriedenheit der Mitarbeiter, die im Bereich BIM tätig sind. Bei der Befragung von 118 BIM-Ingenieuren stellen sie fest, dass die Zufriedenheit der Mitarbeiter einen signifikanten Einfluss auf die erfolgreiche Implementierung und damit auf die realisierbaren Nutzen besitzt (vgl. *Wang* und *Song*, 2017, S. 499). Die Zufriedenheit selbst wird maßgeblich dadurch beeinflusst, dass die Mitarbeiter selbst die Nutzen der neuen Methode erkennen und dass das Top-Management die Implementierung zielorientiert unterstützt (vgl. *Wang* und *Song*, 2017, S. 493). Die Realisierbarkeit der Nutzen von BIM hängen somit und in Erweiterung der Ergebnisse von *Vass* (2016), nicht nur vom Projekt, sondern auch von den jeweiligen Unternehmen ab.

3.3.2 Fallstudien

Es gibt nur wenige deutschsprachige Veröffentlichungen, die sich intensiv mit der konkreten Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM auf Basis einzelner Projekte auseinandersetzen. Eine davon stammt von *Korn et al.* (2016). Sie erfassen und vergleichen den Zeitaufwand der klassischen Kalkulations- und Ausschreibungsmethode mit der BIM-basierten Arbeitsweise bei den Bodengewerken eines Verwaltungshochbaus. Auch wenn ihre Untersuchung mit einigen Unschärfen behaftet ist, kommen sie zu dem Ergebnis,

dass durch die BIM-basierte Arbeitsweise der erforderliche Zeitaufwand im Beispielprojekt von ursprünglich 503 Minuten auf 263 Minuten und damit deutlich um nahezu die Hälfte reduziert werden kann (vgl. *Korn et al.*, 2016, S. 7-9).

Eine ähnliche Untersuchung mit dem Fokus auf der Mengenermittlung stammt von *Whang* und *Sang Min* (2016). Sie haben bei der Analyse eines Projekts in Südkorea festgestellt, dass durch BIM die Genauigkeit der Mengenermittlung gegenüber Nicht-BIM-Projekten von weniger als 89 % auf 95 % gesteigert werden kann (vgl. *Whang* und *Sang Min*, 2016, S. 7749).

Umfassendere Publikationen und Untersuchungen von Projekten stammen aus dem amerikanischen Raum. Basierend auf der Datenbasis von 204 Projekten und unter Verwendung einer multiplen Regressionsanalyse untersuchen *Franz* und *Messner* (2017) in ihrem Whitepaper und später in *Franz* und *Messner* (2019) den Einfluss von BIM auf die Projektperformance. Im Kern geht es um die Frage, ob mit zunehmender Verwendung von AWF die Projektperformance (gemessen in Zeit-, Termin- und Qualitätsmetriken) verbessert wird. Den Einfluss von BIM haben sie anhand fünf verschiedener Parameter untersucht (vgl. *Franz* und *Messner*, 2019):

- Baukosten (endgültige Bauauftragswerte) pro Quadratmeter BGF
- Prozentuale Kostenzunahme von Auftragsvergabe bis Fertigstellung
- Tatsächliche Herstellungsgeschwindigkeit in Quadratmeter BGF pro Monat
- Gruppenzusammenhalt: Wurde indirekt aus drei ergänzenden Umfragen mit je sechs verschiedenen Antwortmöglichkeiten abgeleitet: Atmosphäre im Team (schlecht bis ausgezeichnet), Rechtzeitigkeit der Kommunikation (niemals bis immer) und Bekenntnis zu Projektzielen (schwach bis stark)
- Gebäudequalität: Ebenfalls indirekt aus drei ergänzenden Umfragen mit je sechs Antwortmöglichkeiten von niedrig bis hoch abgeleitet: Zufriedenheit mit der Gebäudestruktur und Gebäudehülle, Zufriedenheit mit dem Innenausbau und Zufriedenheit mit der Gebäudetechnik.

Im Ergebnis bezeichnen sie ihre Datenbasis als repräsentativ für den US-amerikanischen Baumarkt. Sie stellen fest, dass ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem Implementierungsumfang von AWF und der Herstellungsgeschwindigkeit, der Gebäudequalität und dem Gruppenzusammenhalt besteht. Gleichzeitig betonen sie, dass ein neuer Ansatz für die Erfassung von Projektdaten, insbesondere auf der Mikroebene zu entwickeln sei, um den Wertbeitrag von BIM besser verstehen zu können (vgl. *Franz* und *Messner*, 2019).

Deutliche Einsparungen durch die Verwendung von BIM konnte *Cannistraro* (2010) bereits früher feststellen. Das amerikanische TGA-Bauunternehmen hat über 400 interne Bauprojekte evaluiert und konnte bei der Verwendung von BIM eine Reduktion der Projektkosten in Höhe von bis zu 20 % feststellen. Unklar bleibt dabei die Betrachtung der Aufwandsseite, wodurch keine Aussagen zur Wirtschaftlichkeit möglich werden. Zudem wird der genaue Anwendungsumfang von BIM nicht näher beschrieben.

Untersuchungen auf dieser Detaillierungsebene finden sich mehrfach und liefern in etwa gleiche Aussagen, wobei auch hier der genaue Anwendungsumfang oftmals nicht präzisiert wird. Dazu zählen beispielsweise die Ergebnisse von *Nisbet* und *Dinesen* (2010) aus Großbritannien, die für sieben Projekte Kosten und Nutzen von BIM beschreiben und grob monetär abschätzen oder *Shin et al.* (2018), die auf einer Eisenbahnbaustelle in Südkorea ermitteln, dass durch BIM Einsparungen in Höhe von etwa dem 1,3-fachen der Kosten für BIM möglich sind. *Azhar* (2011) spricht sogar von durchschnittlich realisierbaren Einsparungen durch BIM in Höhe des Faktors 16 im Verhältnis zu den dafür anfallenden Kosten. Er hat zehn Projekte analysiert und beziffert die Gesamtkosten für BIM auf 260.528 $, die dadurch erzielbaren Einsparungen hingegen auf 4.256.092 $ (was dem 16,34-fachen der Kosten entspricht).

Auf einer noch allgemeineren Ebene für die gesamte Bauwirtschaft prognostizieren *Gerbert et al.* (2016, S. 10) anhand der Analyse von drei idealtypischen Referenzprojekten für die Bauwirtschaft, dass die Lebenszykluskosten um 12 % bis 16 % gesenkt werden könnten, wobei sie darin die Wirkung weiterer Digitalisierungsansätze berücksichtigen.

Einen etwas anderen Ansatz zur Bestimmung des Nutzens von BIM wählt *LeFevre* (2011). Er setzt sich damit auseinander, welche Kosten entstehen, wenn BIM nicht verwendet wird und bringt diese theoretisch ins Verhältnis zu den Kosten für die Verwendung von BIM. So beschreibt er beispielsweise, dass der Ausfall des IT-Systems einen Eigentümer 3 Mio. $ koste und trifft die Annahme, das durch BIM zwar Kosten in Höhe von 0,3 Mio. $ angefallen wären, entsprechende FM-Daten zur Vermeidung des Ausfalls damit aber vorgelegen hätten und begründet so, dass ein Eigentümer durch die Nicht-Verwendung von BIM 2,7 Mio. $ verloren hätte. Der Ansatz ist grundsätzlich nachvollziehbar, die tatsächlichen Zahlen sind ihrer Höhe nach jedoch kritisch zu betrachten.

Im Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit von BIM werden häufig die Arbeiten von Brittany Giel zitiert. Ihre Veröffentlichungen gehen zurück auf ihre Masterarbeit an der University of Florida, in der sie sich mit dem ROI von BIM auseinandergesetzt hat (vgl. *Giel*, 2009). Ergänzt um weitere Fallstudien beschreiben *Giel* und *Issa* (2011) sowie *Giel* und *Issa* (2013a) sechs Projekte, bei denen sie die folgenden Kosten ermitteln bzw. abschätzen:

- Kosten der vermeidbaren Änderungen (sog. direkte Kosten)
- Kosten für Überschreitung des Fertigstellungstermins (sog. indirekte Kosten)
- Kosten für BIM (0,5 % des Vertragsvolumens)

Diese Parameter bilden die Eingangsgrößen zur Berechnung des ROI von BIM gemäß Formel 12.

$$\frac{K_{(Dir)} + K_{(Ind)} - K_{(BIM)}}{K_{(BIM)}} = ROI$$

Formel 12: Berechnung des ROI von BIM nach *Giel* und *Issa* (2011)

Die verwendeten Variablen bedeuten:

- $K_{(Dir)}$ = Direkte Kosten
- $K_{(Ind)}$ = Indirekte Kosten
- $K_{(BIM)}$ = Kosten für BIM
- ROI = Return on Investment

Im Ergebnis ermitteln sie dadurch bei den Projekten ROI von BIM zwischen 16 % und 1.654 %. Ähnlich wie bei *LeFevre* (2011) ist der Ansatz denklogisch nachvollziehbar, die tatsächlich ermittelten Werte der Höhe nach an einigen Stellen jedoch als fraglich anzusehen. Insbesondere die Annahme, dass die Kosten für BIM pauschal 0,5 % des Vertragsvolumens ausmachen, kann lediglich eine Grobabschätzung sein.

In Kapitel 3.3.1 wurden bereits Nutzen von BIM mit Hilfe von Umfragen erarbeitet. Ergänzend dazu finden sich in der Literatur Fallstudien, die Nutzen von BIM auf Basis von Projektanalysen ermitteln. *Bryde et al.* (2013) haben im Rahmen einer Metastudie 35 BIM-Projekte hinsichtlich der dort erwähnten Nutzen ausgewertet. Der größte Nutzen aus der Verwendung von BIM war die Kostenreduktion, gefolgt von der Verkürzung der Projektzeit. Gleichzeitig konnten sie feststellen, dass bei immerhin 20 % der Projekte die Software problematisch bzw. als negativer Nutzen im Sinne eines erhöhten Aufwands beschrieben wurde.

Noch umfangreicher haben sich *Stowe et al.* (2015) mit den Nutzen von BIM auseinandergesetzt. Sie haben weltweit 51 Workshops mit durchschnittlich etwa je 20 Teilnehmern (BIM-Anwender, die in konkreten Fallstudien Kosten und Nutzen von BIM erhoben hatten) durchgeführt. Ziel der Workshops war es, die Nutzen von BIM genauer zu erfassen und zu analysieren. Die dadurch erfassten 19 wichtigsten Nutzen von BIM sind demnach (vgl. *Stowe et al.*, 2015, S. 3):

- Besseres Verständnis des Arbeitsumfangs
- Höhere Qualität
- Planungsproduktivität und bessere Dokumente
- Modellbasierte Energie- und Nachhaltigkeitsanalysen
- Gesamtplanungsdauer

- Weniger und schneller gelöste Request for Information (RFI)[6]
- Weniger Planungsänderungen
- Größere Zufriedenheit des Bauherrn
- Einfachere und schnellere Visualisierungen
- 3D und 4D Planungen für Logistik etc.
- Einfaches und sicheres Datenmanagement
- Kleinere und besser performende Projektmitarbeiter
- Geringere Druck-, Kopie- und Versandkosten
- Geringere Risiken bei der Preisermittlung der Nachunternehmer
- Kürzere Herstellungsdauern
- Maschinentracking auf der Baustelle erhöht Sicherheit
- Verbesserte Risikoplanung
- Frühere Bescheinigungen und Genehmigungen
- Hoher Informationsgehalt für Betrieb

Zwar ist die Identifikation der Nutzen hilfreich, um einen Überblick zu erhalten, unklar bleibt jedoch, wie die Nutzen genau bestimmt werden können. Zum anderen erscheinen einige der erfassten Nutzen schwer greifbar. So ist fraglich, was beispielsweise unter dem Nutzen der modellbasierten Energie- und Nachhaltigkeitsanalysen genau zu verstehen ist oder wie der hohe Informationsgehalt für den Betrieb bewertet werden kann.

Weitere Beschreibungen zu Nutzen von BIM liefern *Sacks et al.* (2018). Zudem geben *Sacks et al.* (2018, S. 339) basierend auf einer Auswertung von 18 Fallstudien 13 verwendete KPI zur Messung von BIM an, die ergänzt um ihre Verwendungshäufigkeit in Abbildung 25 dargestellt sind.

[6] Informationsanfragen. Im Zusammenhang mit BIM handelt es sich dabei um eine häufig verwendete Kennzahl, die angibt, wie oft Rückfragen von Projektbeteiligten aufgrund von Unklarheiten entstanden sind.

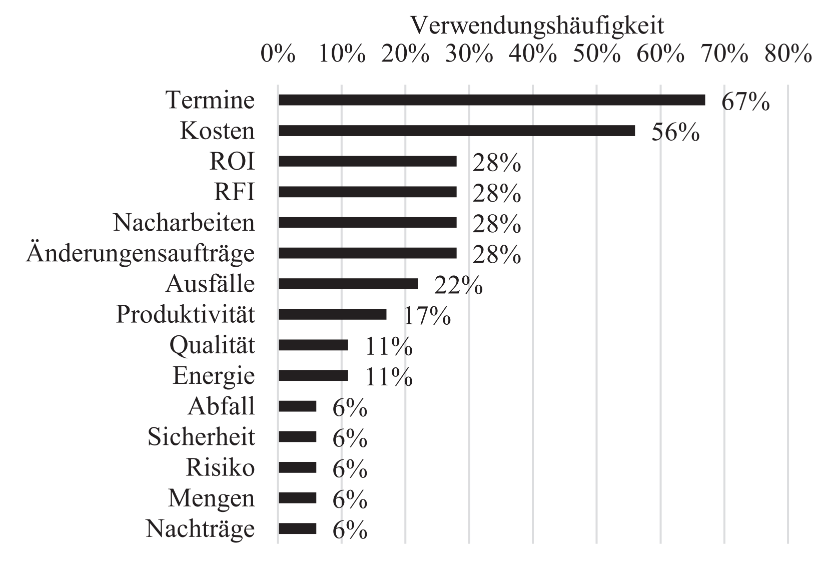


Abbildung 25: Verwendungshäufigkeit einzelner KPI in BIM-Projekten nach *Sacks et al.* (2018, S. 339)

Allerdings bleibt auch hier unklar, wie einige dieser KPI tatsächlich gemessen werden. Zwar kann die Anzahl der RFI relativ leicht bestimmt werden, welche „Termine“ jedoch ermittelt werden sollen oder wie die KPI „Abfall“ oder „Qualität“ gemessen werden wird nicht angegeben.

Barlish (2011) sowie *Barlish* und *Sullivan* (2012) haben auf Basis einer Literatur- und Projektrecherche quantifizierbare Metriken erarbeitet und bestimmen bspw. die Metrik Termin in einer prozentualen Form, indem die aktuelle Projektdauer durch die geplante Projektdauer dividiert wird. Sie unterscheiden gemäß Tabelle 9 übergeordnet zwischen Investment-Metriken (die Kosten bestimmen) und Return-Metriken (die als Messung des Nutzens verstanden werden können). Anhand von Daten aus einem Referenzunternehmen ermitteln sie zudem einzelne Metriken der Höhe nach.

Tabelle 9: Investment- und Returnmetrikennach *Barlish* und *Sullivan* (2012, S. 155 f.)

Investment-Metriken	**Return-Metriken**
Architektur- und Ingenieurkosten [%]: BIM-bezogene Kosten für Architektur- und Ingenieurkosten/Gesamtplanungskosten Modellierungskosten [%]: Modellierungskosten/Gesamtplanungskosten Konstruktionskosten [%]: BIM-bezogene Kosten des Bauunterneh-mens/Gesamtbaukosten BIM Einsparungen [%]: (Architektur- und Ingenieurkosten + Konstruktionskosten)/ (Gesamtplanungskosten + Gesamtbaukosten)	RFI [Anzahl]: Anzahl der RFI Änderungen [%]: Änderungskosten/ Projektkosten Termin [%]: Aktuelle Projekt-dauer/Geplante Projekt-dauer

Zwar erwähnen *Barlish* und *Sullivan* (2012, S. 149) zu Beginn ihrer Arbeit, dass keine einheitliche Definiton zu BIM vorliegt und der Anwendungsumfang von BIM daher immer unterschiedlich verstanden wird, allerdings differenzieren auch sie ihre Untersuchungen nicht weiter in z. B. konkrete Anwendungsfälle. Somit bleibt der jeweilige genaue Anwendungsumfang von BIM auch in ihren Untersuchungen unklar.

Es konnte nur eine Forscherin identifiziert werden, die umfangreiche Informationen zu den potentiellen Nutzen von BIM mit möglichen Metriken zur Messung in Verbindung bringt und dabei auf Ebene der AWF differenziert. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Publikation von *Sanchez et al.* (2016), ergänzend aber auch um *Sanchez et al.* (2014), *Sanchez et al.* (2015) und *Mansson et al.* (2016). Auf ihre Arbeiten wird in Kapitel 6.2.2 eingegangen, wobei sie sich nicht mit dem Aufwand von BIM oder einzelner AWF auseinandersetzt, sondern lediglich Nutzen betrachtet.

Belastbarere Werte für den Aufwand hingegen lassen sich mit der Idee von *Zhang et al.* (2018) gewinnen. Sie haben aus 13 verschiedenen Projekten die Revit-Journal-Dateien[7] von 195 Anwendern der Software ausgewertet und dadurch Rückschlüsse auf die einzelnen Modellierungsschritte und Vorgehensweisen der Anwender gezogen. Im Ergebnis stellen sie fest, dass die einzelnen Anwender unterschiedlich vorgehen und manche Anwender mehr Arbeitsschritte bzw. Klicks zur Modellerstellung benötigen als andere und damit weniger produktiv sind. Durch eine fortlaufende Auswertung der Daten könnte das Projektmanagement künftig frühzeitig die Produktivität der BIM-basierten Planung überwachen und bei Bedarf steuernd eingreifen (vgl. *Zhang et al.*, 2018). Mögliche rechtliche oder moralische Hürden bei dieser Vorgehensweise bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt.

Auch *Koo et al.* (2017) betrachten die Aufwandsseite detailliert und ermitteln auf Basis einer Analyse von 54 BIM-Projekten Aufwandswerte für ausgewählte BIM-Leistungen in Abhängigkeit von der Gebäudeart, der Geschossfläche, der Projektphase und der Projektrolle. Mit Hilfe eines Excel-Tools kann im Anschluss auf Basis der verwendeten Projektdaten grob eine Gesamtstundenzahl für BIM-Leistungen ermittelt werden.

3.3.3 Modellansätze

Die bisher vorgestellten Untersuchungen ermitteln in unterschiedlicher Genauigkeit und Belastbarkeit auf Basis von Umfragen oder Projektanalysen Aufwände und Nutzen von BIM und bringen diese zum Teil miteinander in Verbindung. Der Fokus liegt dabei auf der Beschreibung einzelner Feststellungen und weniger auf der Gewinnung neuer Erkenntnisse in Form von allgemeingültigen Zusammenhägen oder Modellen. Diese sog. Modellansätze werden daher in diesem Kapitel vorgestellt.

[7] Journal-Dateien werden häufig von Software automatisch erstellt und protokollieren alle einzelnen getätigten Schritte des Anwenders. I.d.R. dienen sie dem Support bei der Problemlösung (vgl. *Zhang et al.* 2018).

Einen Ansatz, den mehrere Forscher verwenden, bezieht sich auf die Überlegungen aus Abbildung 1 und Abbildung 2 und beschäftigt sich mit der zeitlichen Verteilung des Projektaufwands von BIM- und Nicht-BIM-Projekten. Zur Erklärung zeigt Abbildung 26 eine vereinfachte Form von Abbildung 2. Der Nutzen (in Form der reduzierbaren Änderungskosten) bleibt hierbei unberücksichtigt. Durch Subtraktion des Aufwands von BIM-Projekten vom Aufwand der Nicht-BIM-Projekte über die Zeit könnte der Vorteil von BIM ermittelt werden.

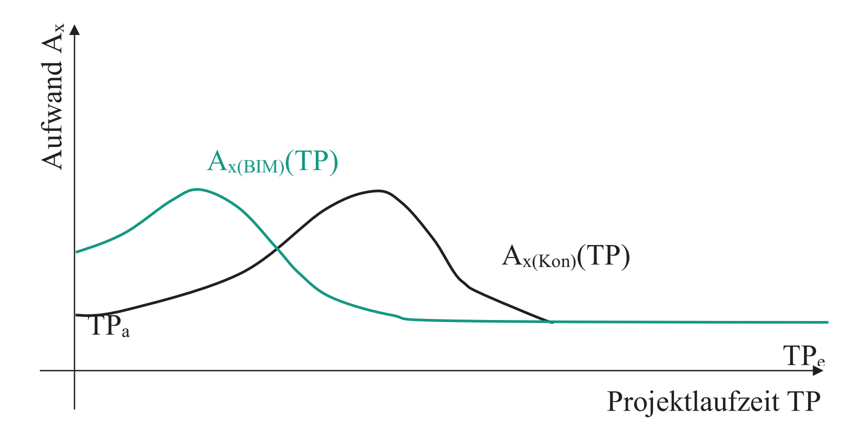


Abbildung 26: Verteilung des Aufwands über die Projektzeit bei BIM- und Nicht-BIM-Projekten (schematische Darstellung)

Mathematisch kann der Vorteil von BIM mit Hilfe von Formel 13 ausgedrückt werden, wobei der Vorteil zum Nachteil wird, wenn die Fläche des BIM-Aufwands größer ist als die des konventionellen Aufwands.

$$\int_{TP_a}^{TP_e} \left(A_{x(Kon)}(TP) - A_{x(BIM)}(TP)\right)\, dTP = V_{x(BIM)}$$

Formel 13: Berechnung des Vorteils von BIM

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- A_x = In Einheit x (z. B. Arbeitsstunden oder Geldeinheit) bewerteter Aufwand
- TP = Projektlaufzeit
- TP_a = Zeitpunkt des Projektanfangs
- TP_e = Zeitpunkt des Projektendes
- $A_{x(Kon)}$ = In Einheit x bewerteter konventioneller Aufwand zur Projektbearbeitung (ohne BIM)
- $A_{x(BIM)}$ = In Einheit x bewerteter Aufwand der Projektbearbeitung mit BIM
- $V_{x(BIM)}$ = Vorteil von BIM in Einheit x

Da die genauen Funktionsgleichungen nicht bekannt sind, kann der Flächeninhalt näherungsweise durch Ermittlung der Ober- und Untersummen bestimmt werden. Diesen Ansatz verwenden *Aibinu et al.* (2014). Sie haben den Aufwand bei einem BIM-Projekt analysiert und empfehlen, dass bei künftigen Projekten die Verteilung der Arbeitsstunden in Summe für das gesamte Projekt und differenziert nach einzelnen Tätigkeiten (bspw. Modellierung, Mengenermittlung, Kostenermittlung) als Indikatoren zur Projektsteuerung dienen können. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit schlagen sie vor, dass die einzelnen Arbeitsstunden nicht absolut, sondern relativ zu den Gesamtarbeitsstunden des Projekts angegeben werden. Das Ergebnis zeigt Abbildung 27, wobei keine Angaben zu den Einheiten der x- und y-Achse gemacht werden und die tatsächlichen Werte daher nicht verlässlich eingeordnet werden können.

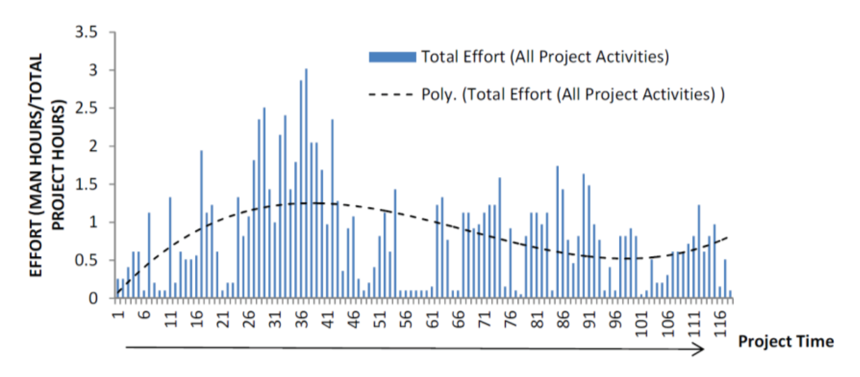


Abbildung 27: Aufwandsverteilung bei einem BIM-Beispielprojekt (*Aibinu et al.*, 2014, S. 77)

Auch *Lu; Fung et al.* (2014) und *Lu; Liang et al.* (2014) verwenden diesen Ansatz der Analyse der Aufwandsverteilung über die Zeit, um Erkenntnisse über den Aufwand von BIM zu gewinnen. Allerdings ermitteln sie keine Arbeitsstunden, sondern die im jeweiligen Zeitintervall angefallenen Projektkosten und dividieren diese zur Sicherstellung der projektübergreifenden Vergleichbarkeit durch die Fläche des Projekts. Zusätzlich weisen sie darauf hin, dass die Kosten auf- oder abgezinst werden müssen, wenn sie in unterschiedlichen Perioden anfallen. Angewendet auf zwei Referenzprojekte (eines mit, eines ohne BIM) haben sie festgestellt, dass zwar die Planungskosten des BIM-Projekts in der Planungsphase 46 % größer ausfielen als bei dem Nicht-BIM-Projekt (dies entspricht Mehrkosten in Höhe von 101 HKD[8]/m²). Gleichzeitig konnte jedoch in der Ausführungsphase eine Einsparung in Höhe von 8,61 % der Ausführungskosten gegenüber denen des Nicht-BIM-Projekts erzielt werden (dies entspricht Einsparungen in Höhe von 592 HKD/m²). Da die Ausführungskosten deutlich höher als die Planungskosten waren, konnte durch BIM eine Gesamtkosteneinsparung in Höhe von 6,9 % erzielt werden (dies entspricht Gesamteinsparungen in Höhe von 491 HKD/m²) (vgl. *Lu; Fung et al.*, 2014, S. 317).

[8] HKD = Hongkong-Dollar. Wechselkurs im August 2019: 1 HKD = 0,11 €

Aus diesen Studien kann abgeleitet werden, dass es möglicherweise eine idealisierte Soll-Verteilung für den Aufwand einzelner Projektarten oder Tätigkeiten gibt. Übertragen auf die vorliegende Arbeit könnten Soll-Verteilungen für einzelne AWF erarbeitet werden, um im Sinne eines Benchmarkings die Anwendung von bzw. den erbrachten Aufwand für AWF zu steuern. Fraglich ist jedoch zum einen, aus welcher Datenbasis die Soll-Verteilung ermittelt werden könnte, ob es diese idealisierte Verteilung überhaupt gibt und wie die anfallenden Aufwendungen noch nicht abgewickelter Projekte prospektiv verlässlich bestimmt werden können.

Der vorgestellte Modellansatz betrachtet folglich nicht die Wirtschaftlichkeit von BIM isoliert, sondern es erfolgt der Vergleich der Aufwände von BIM- und Nicht-BIM-Projekten. Die Nutzenseite wird nicht betrachtet. Theoretisch wäre es vorstellbar, dass ein geringerer Aufwand durch BIM nachgewiesen wird, allerdings wäre die Anwendung von BIM nur wirtschaftlich, wenn der geringere Aufwand nicht durch eine Nutzenreduktion „erkauft“ wird. Die Wirtschaftlichkeit in Form des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses muss zunehmen, damit die Anwendung von BIM sinnvoll ist.

Es existieren weitere Modellansätze, die eine ganzheitlichere Betrachtung ermöglichen sollen. Weit verbreitet ist der Ansatz, den ROI von BIM zu bestimmen, um Aussagen über die Wirtschaftlichkeit zu erhalten. Neben den bereits vorgestellten Ergebnissen zum ROI von BIM in den Kapiteln 3.3.1 und 3.3.2 finden sich weitere Ausführungen und Analysen in *Reddy* (2012, S. 189-193), *Salih* (2012), *Qian* (2012) oder *Reizgevičius et al.* (2018). Diese Arbeiten können im Wesentlichen auf die Veröffentlichung von *Autodesk* (2007) zurückgeführt werden, wobei teilweise andere Variablen Verwendung finden. Die Autoren schlagen darin vor, welche Variablen bei der ROI-Be-

stimmung berücksichtigt werden sollten und entwickeln eine Berechnungsformel. Mit Formel 14 wird der ROI von BIM im ersten Jahr der Anwendung berechnet.

$$\frac{\left(K_{P,mon} - \frac{K_{P,mon}}{1 + P_G}\right) x\ (12 - C_{Mon})}{A_{mSH(BIM)} + K_{P,mon}\ x\ C_{mon}\ x\ P_V} = ROI_F$$

Formel 14: Berechnung des ROI von BIM im ersten Jahr nach*Autodesk* (2007, S. 2)

Die darin verwendeten Variablen sind:

- $A_{mSH(BIM)}$ = Monetär bewerteter Aufwand (Kosten) für BIM Software und Hardware im Betrachtungszeitraum
- $K_{P,mon}$ = Monatliche Personalkosten
- C_{mon} = Ausbildungsdauer in Monaten
- P_V = Prozentualer Produktivitätsverlust durch Ausbildung
- P_G = Prozentualer Produktivitätsgewinn nach Ausbildung
- ROI_F = Return on Investment im ersten Jahr

In einer Onlineumfrage unter etwa 100 Revit-Nutzern im Jahr 2003 hat *Autodesk* (2007, S. 3) die nachfolgend in Formel 15 eingesetzten Werte ermittelt und daraus einen ROI von BIM im ersten Jahr in Höhe von 61,5 % ermittelt

$$\frac{\left(4.200\ \$/Monat - \frac{4.200\ \$/Monat}{1 + 0{,}25}\right) x(12 - 3 Monate)}{6.000\ \$ + 4.200\ \$/Monat\ x\ 3\ Monate\ x\ 0{,}5} = 61{,}5\ \%$$

Formel 15: Exemplarische Berechnung des ROI nach *Autodesk* (2007, S. 3)

Diese Ergebnisse sind aus mehreren Perspektiven zu relativieren. Zum einen handelt es sich bei Autodesk um den Hersteller einer Software für BIM-Anwendungen. Ein gewisses Interesse an einem möglichst hohen ROI als Verkaufsargument kann unterstellt werden. Zum anderen sind die Daten über 15

Jahre alt und daher ggfs. heute in dieser Form nicht mehr gültig. Die wesentlichen Kritikpunkte bilden jedoch die Variablen P_V und P_G. Während

$A_{mSH(BIM)}$, $K_{P,mon}$ und C_{mon} genau bestimmbar sind, handelt es sich bei P_V und P_G um Schätzwerte, die bei entsprechenden Schwankungen den ROI stark beeinflussen. Beispielsweise sinkt der ROI um über die Hälfte auf 27,9 %, wenn Variable P_G auf 10 % reduziert wird. Gleichzeitig wird bei Verwendung der Formel deutlich, dass beispielsweise die Systemkosten (Variable $A_{mSH(BIM)}$) einen geringeren Einfluss auf den ROI besitzen. Würden sich diese von 6.000 $ auf 12.000 $ verdoppeln, sinkt der ROI nur um etwa ein Drittel von 61,5 % auf 41,3 % (vgl. *Autodesk*, 2007, S. 3 f.).

Unabhängig von den angesprochenen Kritikpunkten beschreibt Abbildung 28 gut den Kerngedanken der Einführung von BIM-Software und den des Modellansatzes. Während das Arbeiten mit bestehenden Methoden ein gewisses Produktivitätsniveau besitzt, wird durch die Einführung neuer Software zunächst die Produktivität sinken und nach einer gewissen Zeit – sofern sie denn erfolgreich implementiert wurde – steigen.

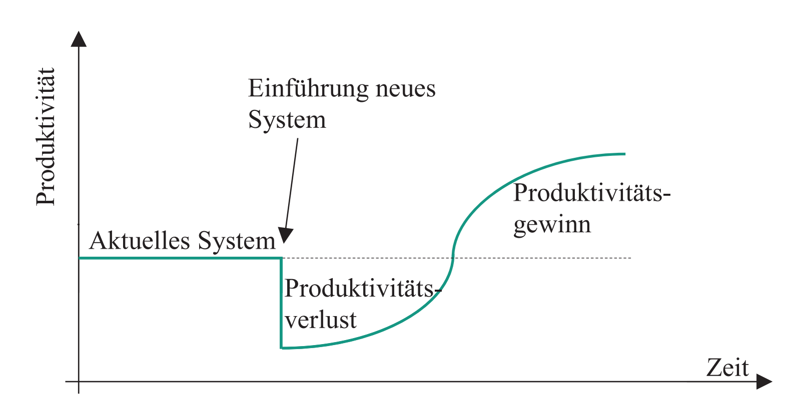


Abbildung 28: Verlauf der Produktivität bei Einführung von BIM-Software nach *Autodesk* (2007, S. 2)

Im Hinblick auf das Ziel dieser Arbeit gilt es die Flächen der beiden gekrümmten Bereiche genauer zu bestimmen. Wären Produktivitätsverlust und Produktivitätsgewinn gleich groß, so würde die Anwendung von BIM wirtschaftlich keinen Sinn ergeben. Nur wenn die neue Produktivität (P_{Neu}) über der aktuellen Produktivität (P_{alt}) liegt, der Produktivitätsgewinn also größer

ist als der Produktivitätsverlust, ist BIM wirtschaftlicher als das Planen und Bauen nach konventionellen Methoden.

Die sich daraus ergebende und einzuhaltende Bedingung zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit von BIM lautet:

$$P_{Neu} > P_{Alt}$$

Formel 16: Bedingung für Wirtschaftlichkeit von BIM

Die Herausforderung liegt in der Bestimmung der Produktivität und an dieser Stelle setzen die Überlegungen von *Huang* und *Hsieh* (2015) an. Sie bewerten die Produktivität von BIM-Projektteams und definieren Produktivität als Quotient von fertiggestellter Fläche und Arbeitszeit gemäß Formel 17.

$$\frac{F_{F(Modell)}}{A_t} = P_{BIM-Team}$$

Formel 17: Produktivität von BIM nach *Huang* und *Hsieh* (2015, S. 2)

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- $P_{BIM\text{-}Team}$ = Produktivität des BIM-Teams
- $F_{F(Modell)}$ = Fertiggestellte Fläche im Modell in Flächeneinheit (z. B. m²)
- A_t = In Zeiteinheit (z. B. Arbeitsstunden) bewerteter Aufwand

Exemplarisch rechnen sie vor, dass bei Fertigstellung eines BIM-Modells mit einer Fläche von 10.000 m² und einer dafür aufgebrachten Arbeitszeit von fünf Personenmonaten die Produktivität des Teams 2.000 m²/Personenmonat beträgt (vgl. *Huang* und *Hsieh*, 2015, S. 2). Basierend auf der Auswertung von fünf Referenzprojekten ermitteln sie mit ihrem Modellansatz bspw. Produktivitäten der BIM-Architektur-Teams beim AWF „Modellerstellung“ von 10.000 bis zu 44.500 m²/Personenmonat und bei BIM-TGA-Teams von 9.700 bis zu 25.100 m²/Personenmonat. Für den AWF „Kollisionskontrolle“ beträgt die Produktivität der Architektur-Teams im Durchschnitt 3.200 m²/Personenmonat und bei den TGA-Teams 1.890 m²/Personenmonat (vgl. *Huang*

und *Hsieh*, 2015, S. 3). Eine erste Erkenntnis daraus ist, dass das Arbeiten nach der Methode BIM im Bereich TGA scheinbar aufwändiger ist als in der Architektur, da dort bei beiden AWF geringere Produktivitäten bestimmt wurden. Aufwandswerte in dieser Form konnten in gängiger Literatur zur Kalkulation von Bauprojekten nicht gefunden werden.

Einen ähnlichen Ansatz verwenden *Poirier et al.* (2015), wobei sie keine BIM-Projekte untereinander, sondern diese mit Nicht-BIM-Projekten vergleichen. Dabei können sie Produktivitätssteigerungen durch BIM in Höhe von 75 % bis zu 240 % feststellen.

Kritisch zu betrachten an den Arbeiten von *Huang* und *Hsieh* (2015) und *Poirier et al.* (2015) ist die Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Projekte und der genauen Inhalte der AWF. Beispielsweise ist es deutlich aufwändiger ein Modell mit hohem Detaillierungsgrad für eine Ausführungsplanung zu erstellen, als ein Modell für die Vorentwurfsplanung. Aus diesem Grund empfehlen *Huang* und *Hsieh* (2015, S. 4) die fertiggestellte Fläche mit Korrekturfaktoren entsprechend zu gewichten, wobei sie keine Angaben über Art und Höhe solcher Korrekturfaktoren liefern, sondern empfehlen, dass diese künftig zu entwickeln seien.

Der folgende und letzte Modellansatz stammt von *Won* und *Ghang* (2016) und wird im Rahmen dieser Arbeit entwickelt. Sie haben ein sog. Success level assessment model (SLAM)[9] für BIM entwickelt. SLAM sieht fünf Prozessschritte vor (vgl. *Won* und *Ghang*, 2016, S. 36):

1. Bestimmung der BIM-Ziele
2. Bestimmung der AWF
3. Bestimmung der BIM-KPI
4. Bestimmung der Metriken zur Messung der KPI
5. Entwicklung von Erfassungsformularen

Sie haben SLAM bei zwei Projekten (Parkgarage und eine Sportanlage mit Baseball-Feld und Gaststätte) in Südkorea getestet und nach Bestimmung der BIM-Ziele und AWF KPI festgelegt (vgl. *Won* und *Ghang*, 2016, S. 37 f.):

[9] Eigene deutsche Übersetzung: Modell zur Bewertung des Erfolgs von BIM

- (Aktuelle Kosten - Geplante Kosten) - Zusätzliche Kosten für BIM-Implementierung
- Höhe der Änderungskosten
- Durchschnittliche Zeit zur Beantwortung der RFI
- Kostenkonformität der Hauptaktivitäten
- Anzahl der Fehler und Versäumnisse auf der Baustelle
- Anzahl der Nacharbeiten
- Anzahl der RFI
- Anzahl der Risiken, die mit BIM identifiziert werden
- Prozentualer Anteil der Tätigkeiten, die ohne Verzögerung fertig gestellt werden
- Quote der Leistungen die bei erstmaliger Prüfung abgenommen werden
- Terminkonformität der Hauptaktivitäten
- Konformität der Gesamtkosten
- Konformität des Gesamtterminplans

Während einige KPI direkt gemessen werden können (bspw. Anzahl der RFI) müssen für andere KPI entsprechende Metriken zur Messung festgelegt werden. Für beide Projekte wurden daher die folgenden Metriken festgelegt (vgl. *Won* und *Ghang*, 2016, S. 39):

- Aktuelle Dauer der Hauptaktivitäten
- Geplante Dauer der Hauptaktivitäten
- Aktuelle Projektdauer
- Geplante Projektdauer
- Geplante Projektkosten
- Zusätzliche Arbeitsstunden aufgrund von Änderungen
- Investitionskosten für BIM
- Anzahl der Fehler und Versäumnisse auf der Baustelle
- Anzahl der Nacharbeiten
- Anzahl der RFI
- Anfragedatum der einzelnen RFI
- Antwortdatum der einzelnen RFI
- Anzahl der Risiken, die mit BIM identifiziert werden

Zusätzlich bei der Parkgarage:

- Anzahl der Änderungen im Projekt
- Anzahl der Objekte, die abgenommen werden
- Anzahl der Objekte, die bei erstmaliger Abnahme abgenommen werden

Zusätzlich bei der Sportanlage:

- Aktuelle Kosten der Hauptaktivitäten
- Aktuelle Projektkosten
- Zusätzliche Kosten aufgrund von Änderungen
- Zusätzliche Kosten aufgrund von Nacharbeiten
- Zusätzliche Arbeitsstunden aufgrund von Nacharbeiten
- Anzahl der Aktivitäten mit Terminüberschreitungen
- Geplante Kosten der Hauptaktivitäten
- Gesamtanzahl an Aktivitäten

Bei der tatsächlichen Umsetzung wurden aus unterschiedlichen Gründen mehrere KPI nicht gemessen (vgl. *Won* und *Ghang*, 2016, S. 38). Einige Messergebnisse werden detailliert in *Won* und *Ghang* (2016, S. 40 f.) beschrieben. Weiter relevant für diese Arbeit sind ihre weiteren Überlegungen, wie die gemessenen KPI in Verbindung gebracht werden können, um Aussagen über die Wirksamkeit von BIM treffen zu können. Dazu bestimmen sie verschiedene ROI, die sich Mangels vorhandener Daten jeweils aus unterschiedlichen Teilen der folgenden Kennwerte in Tabelle 10 zusammensetzen.

Tabelle 10: Input und Output der ROI nach *Won* und *Ghang* (2016, S. 41)

Input	Output
Zusätzliche Softwarekosten für BIM Zusätzliche Hardwarekosten für BIM BIM-Modellierungs- und -beratungsgebühren BIM-Trainingskosten Zusätzliche Gehaltskosten für BIM: Monatliche Gehaltskosten für einen BIM-Mitarbeiter x Anzahl der BIM-Mitarbeiter x Anzahl der Arbeitsmonate der BIM-Mitarbeiter	Vermiedene Kosten für Nacharbeiten aufgrund von Planungsfehlern: Summe der Kosten der einzelnen Fehler x Wahrscheinlichkeit die einzelnen Fehler ohne BIM nicht zu identifizieren Erwartete zusätzliche Kosten aufgrund Terminverzögerungen: Wöchentliche Schadenszahlungen x Verzögerungswochen Reduzierte Kosten für BIM-basierte Mengenermittlung: (Erwartete Zeit für konventionelle Mengenermittlung - Zeit für BIM-basierte Mengenermittlung) x Monatliche Gehaltskosten für Mengenermittlung

3.3.4 Sonstige

Publikationen in dieser Kategorie basieren weder auf Umfragen noch auf Fallstudien. Sie beschäftigen sich somit in einer allgemeinen Form mit dem Aufwand, Nutzen oder der Wirtschaftlichkeit von BIM bzw. Teilen davon. Einige der Publikationen werden im Verlauf der Arbeit an geeigneter Stelle thematisiert. Dazu gehören:

- *Sebastian* und *van Berlo* (2010)
- *Sackey et al.* (2013)
- *Du et al.* (2014)
- *Schwerdtner* (2018)
- *Borrmann et al.* (2019)

Ein Ansatz, der sich an die vorgestellten ROI-Berechnungen anlehnt, stammt von *May* (2014, S. 34). Sie rechnet exemplarisch das Potenzial von BIM anhand der Reduktion von Fehlerkosten gemäß Formel 18 vor. Bei einem 5 Mio. € Projekt nimmt sie Fehlerkosten in Höhe von 12 % (600.000 €) an. Wäre BIM in der Lage, die Fehlerkosten um 10 % zu senken entspräche dies einem Wert von 60.000 €. Bei angenommenen Implementierungskosten in Höhe von 50.000 € betrüge die Rentabilität der Investition +20 %.

$$R_{(BIM)} = \frac{V_m \; x \; FK_V \; x \; FK_{P(BIM)}}{A_{Im(BIM)}} - 1$$

Formel 18: Rentabilität einer BIM-Investition in Anlehnung an *May* (2014, S. 34)

Die dabei verwendeten Variablen sind:

- $R_{(BIM)}$ = Rentabilität der BIM-Investition
- V_m = Monetär bewertetes Projektvolumen
- FK_V = Prozentualer Anteil der Fehlerkosten an V_m
- $FK_{P(BIM)}$ = Prozentuales Fehlerkosteneinsparpotenzial von BIM
- $A_{Im(BIM)}$ = Monetär bewerteter Implementierungsaufwand für BIM

Während die Einschätzung der prozentualen Fehlerkosten sicherlich in einem realistischen Bereich liegt, bleibt die Ermittlung des Fehlerkosteneinsparpotenzials von BIM fraglich. Gleichzeitig hat diese Größe einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis. Unklar ist zudem, welche AWF den exemplarischen Implementierungskosten und dem angenommen Fehlerkosteneinsparpotenzial entsprechen. Ergänzend ist anzumerken, dass der eigentliche Anwendungsaufwand keine Berücksichtigung findet.

Die Betrachtung der Fehler- oder Änderungskosten von Projekten im Zusammenhang mit BIM findet sich in weiteren Publikationen. Alle kommen zu dem Ergebnis, dass durch BIM teils erhebliche Einsparungen möglich werden, wobei die genaue Höhe des Einsparpotenzials unterschiedlich ausfällt. Genaue Untersuchungsergebnisse finden sich beispielsweise in *LeFevre* (2011), *Lee et al.* (2012), *Ham et al.* (2018) oder *Wu et al.* (2018)

Abschließend werden die Vorschläge des *Zentralverband Deutsches Baugewerbe* (2017) vorgestellt. Aufgrund des geringen Anteils deutschsprachiger Publikationen hat dieses Handbuch zur „Einführung von BIM im Bauunternehmen“ von einem der beiden großen Arbeitgeberverbände deutscher Bauunternehmern einen besonderen Stellenwert.

Der *Zentralverband Deutsches Baugewerbe* (2017, S. 35) empfiehlt Unternehmen im Rahmen der BIM-Implementierung „sämtliche Aufwendungen (Beratung, Software, Hardware, Qualifikation, Einarbeitungszeit etc.) in der Betriebsbuchhaltung auf einer separaten Kostenstelle“ zu verbuchen. Im Hinblick auf die beispielsweise von *Won* und *Ghang* (2016) angesprochenen Problematiken bei der Erfassung der Kennwerte ist dieser Schritt sehr wichtig. Je granularer Aufwendungen von BIM im Unternehmen erfasst werden, desto präziser können Nutzen-Aufwand-Untersuchungen durchgeführt werden. Weiterhin empfiehlt der *Zentralverband Deutsches Baugewerbe* (2017, S. 35) in drei Ebenen (Unternehmen, Projekt und Mitarbeiter) Kennzahlen zu erfassen, um das Erreichen der „Ziele kontinuierlich überwachen und im Falle von Abweichungen gegensteuern zu können“ und nennt beispielsweise:

Unternehmensebene:

- Anteil BIM-Projekte an allen Projekten in %

Projektebene:

- Anteil der in die BIM-Anwendung einbezogenen Projektpartner in % (Planer, NU, Kunde etc.)
- Ausmaß, in dem BIM in den Projektphasen (Konzept, Vorplanung, Detailplanung, Ausführung, Dokumentation) angewendet wird
- Zahl neu angebotener Dienstleistungen
- Genauigkeit der BIM-Datenlieferungen (Fehleranzahl)
- Zeitverzug und Kostenüberschreitungen in %

Mitarbeiterebene:

- Anteil der in BIM geschulten Mitarbeiter in %
- Erzieltes Niveau an BIM-Kompetenzen10
- Anteil der in Projekten angewendeten BIM-Kenntnisse

Während einige dieser Kennzahlen bereits in den vorherigen Kapiteln von anderen Autoren vorgeschlagen und vorgestellt wurden, handelt es sich bspw. bei der Kennzahl „Anteil der in BIM geschulten Mitarbeiter" um einen neuen Vorschlag. Fraglich ist, ob alle Mitarbeiter in BIM geschult sein müssen oder welcher Wert geeignet wäre, um mit der Anwendung von BIM beginnen zu können. Fragen dieser Art müssen in künftigen Untersuchungen betrachtet werden.

3.3.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend wird festgestellt, dass erste Untersuchungen zum Nutzen von BIM bereits vor über 20 Jahren durchgeführt wurden und seitdem stetig zugenommen haben. Mittlerweile liegt eine Vielzahl von Publikationen vor. Während Umfragen i.d.R. Schätzwerte liefern, die zur besseren Einordnung herangezogen werden können, sind Ergebnisse auf Basis von Fallstudien verlässlicher, wobei dort der genaue Anwendungsumfang von BIM (im Sinne der verwendeten AWF) häufig unklar bleibt. In Summe werden BIM mehr Nutzen als Aufwände zugeschrieben. Insbesondere die softwareseitige Implementierung und Anwendung wird als große Herausforderung gesehen, die allerdings durch die realisierbaren Nutzen amortisiert werden. Die Ergebnisse dazu schwanken stark, von einem gering positiven Nutzen-Aufwand-Verhältnis bis zu deutlichen Nutzenvorteilen.

Nur wenige Publikationen beschäftigen sich mit den Zusammenhängen von Aufwand und Nutzen von BIM auf einer allgemeinen, modellbasierten

[10] Hier unterscheidet der *Zentralverband Deutsches Baugewerbe* (2017, S. 32) in Niveau 1 (Grundlagen mit 1 bis 2 Jahren Erfahrung), Niveau 2 (fortgeschritten mit 3 bis 5 Jahren Erfahrung) und Niveau 3 (Experte mit 6 bis 8 Jahren Erfahrung)

Ebene. Ebenfalls kann festgehalten werden, dass nur wenige Autoren versuchen BIM präziser auf Ebene der AWF zu differenzieren. Dieser Schritt ist allerdings notwendig, da zum einen in vielen Publikationen die teils uneinheitliche Verwendung des Begriffs BIM kritisiert wurde, zum anderen BIM wohl nie als eine Methode im Ganzen und überall in gleicher Form angewendet wird.

Daher wird im nächsten Kapitel der Reifegrad von BIM thematisiert, mit dessen Hilfe im Verlauf der Arbeit die Abhängigkeiten der einzelnen AWF in Form eines Input-Output-Modells miteinander in Verbindung gebracht werden, um darauf aufbauend die einzelnen Aufwände und Nutzen der AWF zu beschreiben.

4 Reifegrad von BIM

4.1 Vorbemerkungen

Es ist von Bedeutung, wie weit die Implementierung von BIM fortgeschritten ist und welche Entwicklungen feststellbar bzw. wie diese voneinander abgrenzbar sind, um Vergleiche zu ermöglichen. Dabei hat sich in der Literatur die Einteilung in sog. BIM Level durchgesetzt. Diese Unterteilung stammt aus Großbritannien und geht zurück auf das von *Bew* und *Richard* entwickelte BIM Maturity Model (vgl. Kapitel 4.3). Der Begriff „maturity" bedeutet wörtlich übersetzt Reife (vgl. *Cambridge Dictionary*, 2019c) bezieht sich jedoch in diesem Zusammenhang auf die Definition von *Paulk et al.* (1993, S. 4) und muss daher passender mit Reifegrad übersetzt werden. Der Reifegrad beschreibt „die Fähigkeit einer Organisation hinsichtlich einer bestimmten Methode […]" (*ProjektMagazin*, 2019). Die Reife selbst bzw. der höchste Reifegrad ist erreicht, wenn die entsprechende Methode vollständig entwickelt ist oder ihr Optimum erreicht hat (vgl. *Dakhil*, 2017, S. 59). Mit Methode kann auch ein Prozess gemeint sein. Nach *Paulk et al.* (1993, S. 22-24) bewirkt ein zunehmender Reifegrad drei wesentliche Veränderungen:

1. Die Abweichungen von geplanten hin zu tatsächlich erreichten Ergebnissen nehmen ab.
2. Die Varianz der tatsächlich erreichten Ergebnisse um die geplanten Ergebnisse sinkt.
3. Die geplanten Ergebnisse verbessern sich.

4.2 Capability Maturity Model

Insgesamt werden in dem von *Paulk et al.* (1993) entwickelten Capability Maturity Model fünf Reifegrade unterschieden (vgl. *Paulk et al.*, 1993, S. 10-13 und *ProjektMagazin*, 2019):

- Level 1 (initial): Fähigkeiten für eine Methode oder Prozess sind individuell vorhanden und nicht in der Organisation verankert.
- Level 2 (wiederholbar): Für die Methode oder den Prozess gibt es dokumentierte Standards.
- Level 3 (definiert): Wissen wird aufgebaut, messbare Kennzahlen für die Methode oder den Prozess werden implementiert.
- Level 4 (gesteuert): Organisation orientiert sich an „Best Practices", Benchmarking mit anderen Organisationen erfolgt.
- Level 5 (optimiert): Organisation betreibt aus sich selbst heraus einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) der Methode oder des Prozesses.

Unabhängig von der tatsächlich gewählten Anzahl der zu unterscheidenden Level stellt Abbildung 29 den Grundgedanken der Auswirkung des zunehmenden Reifegrads auf den Verlauf der Methode oder des Prozesses grafisch dar (beispielsweise bewertet in der Erreichung von messbaren Zeit- oder Kostenzielen). Die Zutreffwahrscheinlichkeit der Methode oder des Prozesses und somit die Wahrscheinlichkeit der Erreichung des gesetzten Ziels (also die Funktionsgleichung der jeweiligen Wahrscheinlichkeitskurve) wird als Fähigkeit (aus dem Englischen „capability", vgl. *Cambridge Dictionary*, 2019a) der Methode oder des Prozesses bezeichnet. Mit zunehmendem Reifegrad verbessert sich die Fähigkeit. Das geplante Ergebnis (Ziel N) erreicht die gesetzten Ziele (Zeit/€/…) mit einer höheren Wahrscheinlichkeit.

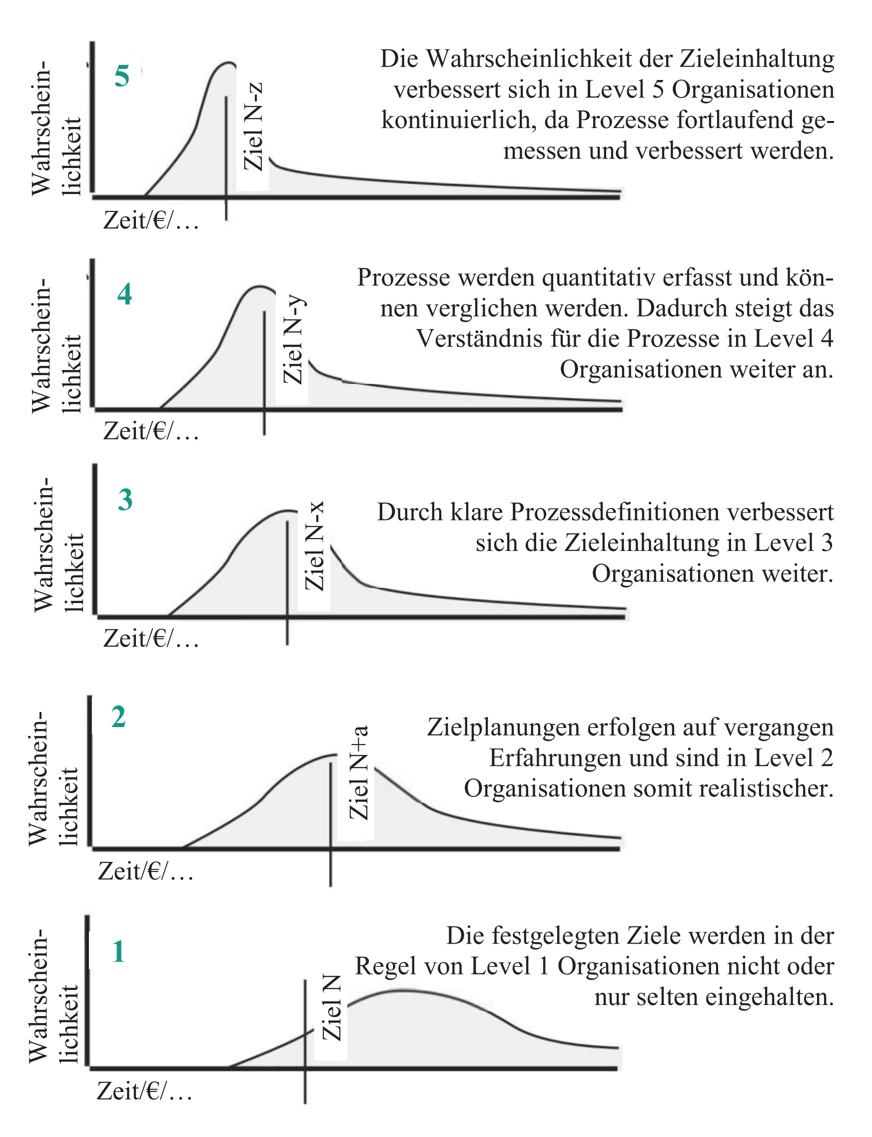


Abbildung 29: Verbesserung durch zunehmenden Reifegrad nach *Paulk et al.* (1993, S. 23)

Die Fähigkeit (capability) gibt folglich Auskunft darüber, ob eine Person oder Organisation überhaupt dazu in der Lage ist eine Aufgabe auszuführen, während der Reifegrad (maturity) den Erfolg der Ausführung im Hinblick auf die gesetzte Zielerreichung beschreibt (vgl. *Succar*, 2010, S. 102).

4.3 BIM Maturity Model

4.3.1 Grundlagen

Das BIM Maturity Model nach *Bew* und *Richards* differenziert vier verschiedene Reifegrad-Level bei der Anwendung von BIM.

Level 0: Vorgeschaltet ist Level 0, bei dem nicht von der Anwendung von BIM gesprochen werden kann. Es liegen entweder reine Papierpläne oder nicht miteinander verknüpfte zweidimensionale CAD Pläne mit grafischen Informationen vor (vgl. *Sacks et al.*, 2018, S. 15). Das bedeutet, es gibt keine digitalen objektorientierten Informationen an Bauteilen, wie beispielsweise der U-Wert einer Wand oder die Angabe, ob das Bauteil tragend ist oder nicht. Es handelt sich somit um technische Zeichnungen. Dies sind „technische Informationen, die im Regelfall maßstäblich nach vereinbarten Regeln graphisch auf einem Informationsträger dargestellt sind“ (*DIN EN ISO* 10209, 2012, S. 74).

Level 1: Erst in einem Modell können mehr Informationen zu den einzelnen Bauteilen dargestellt werden. Ein CAD-Modell ist ein „strukturierter CAD-Datenbestand, der entsprechend den physischen Teilen der dargestellten Objekte gegliedert ist […] Modelle können zweidimensional oder dreidimensional sein; sie können graphische wie nicht-graphische, den Objekten zugeordnete Daten beinhalten“ (*DIN EN ISO* 10209, 2012, S. 7). Sobald mindestens eine am jeweiligen Projekt beteiligte Disziplin (z. B. Architekt, TGA-Planer, Tragwerksplaner etc.) Modelle dreidimensional erstellt oder mit nicht-graphischen (alphanumerischen) Informationen ergänzt, kann von einer Anwendung der Methode BIM auf Level 1 gesprochen werden. Wenn nur eine Disziplin damit arbeitet, wird es als „little BIM“ bezeichnet (vgl. *VDI*

2552 Blatt 2, 2018, S. 6). Es handelt sich folglich um keine durchgängige Anwendung der Methode bei allen Projektbeteiligten und es existieren keine expliziten Vorgaben für eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit (vgl. *Hausknecht* und *Liebich*, 2016, S. 46). In diesem Level bewegt sich aktuell ein Großteil des Marktes (vgl. *BIMpedia)*. Neben der Erstellung des eigentlichen Modells (BIM-Anwendungsfall „Modellierung (3D Planung)", vgl. dazu auch Kapitel 3), wird mit Erreichen des BIM Level 1 die Umsetzung erster weiterer BIM-Anwendungsfälle möglich. So kann beispielsweise der Architekt mit dem Anwendungsfall „Regelprüfung" (vgl. dazu auch Kapitel 3) sein eigenes disziplinspezifisches Modell auf Kollisionen der Bauteile prüfen oder ergänzende Prüfungen nach zuvor festgelegten Kriterien durchführen (z. B. automatische Prüfung der Fluchtweglängen oder die Einhaltung von Mindestöffnungsmaßen bei einer barrierefreien Planung). In Abhängigkeit der Anzahl der auf Level 1 arbeitenden Projektbeteiligten können weitere Anwendungsfälle möglich werden.

Level 2: Ab Level 2 kann von einer echten Arbeitsweise nach der Methode BIM gesprochen werden, da die objektorientierte dreidimensionale Modellierung durchgängig bei allen Projektbeteiligten Anwendung findet (vgl. *Lymath*, 2014, S. 4). Dies wird häufig auch als „Big BIM" bezeichnet (vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 3). Spätestens ab diesem Level (da erst hier alle Projektbeteiligten mit BIM arbeiten) werden weitere Anwendungsfälle möglich. Beispielsweise können durch modellbasierte 3D-Kollisionsprüfungen Konflikte zwischen Fachplanermodellen automatisiert ermittelt und alle Beteiligten Gewerke modellbasiert koordiniert werden (Anwendungsfall „Gewerkekoordination"). Die exemplarisch genannten Anwendungsfälle werden möglich, da die Beteiligten nach festgelegten Regeln zur Bearbeitung, Freigabe und Nutzung der Modelle arbeiten. Diese Regelungen und Vorgaben zur gemeinsamen Datennutzung werden als Common Data Environment[1] (CDE) bezeichnet (vgl. *Hausknecht* und *Liebich*, 2016, S. 46). Werden alle Daten zudem in einer gemeinsamen Umgebung abgelegt, so dient das CDE als zentrale Informationsquelle und hilft Doppelungen und

[1] Übersetzt bedeutet CDE „gemeinsame Datenumgebung" (vgl. dazu auch 2552 Blatt 2 (2018), S. 5. Im Deutschen werden dafür jedoch häufig auch die Begriffe virtuelle Projektraum, Projektplattform oder Projektkommunikationssystem verwendet.

Fehler zu vermeiden. Abbildung 30 stellt den Grundgedanken des CDE bildlich dar.

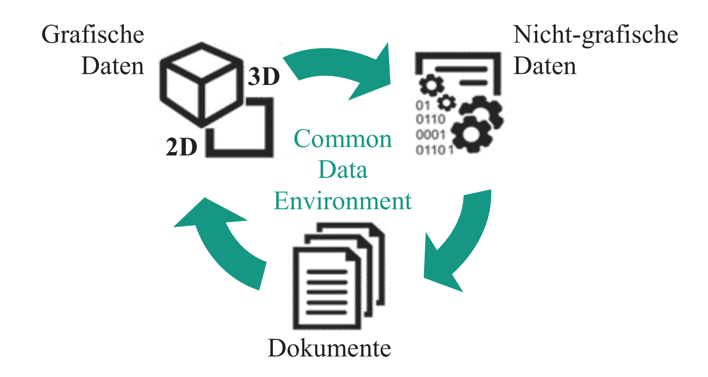


Abbildung 30: Konzept des CDE in Anlehnung an *Montague* (2016)

Idealerweise werden die Informationen im CDE als die einzig gültige Datenbasis für alle Projektbeteiligten definiert (im Gegensatz zu Papierdokumenten in Ordnern oder sonstigen anderweitig abgelegten Dateien). Die Datenbasis wird damit zur Single Source of Truth (SSoT). (Vgl. *Klemt-Albert* und *Bahlau*, 2017, S. 75).

Sind das CDE und die zu verwendenden Softwareprodukte bei einem Projekt festgelegt bzw. wird nur Software eines Herstellers verwendet, bezeichnet man es als „closed BIM“. Die Konsequenz daraus ist, dass der Datenaustausch i.A. fehlerfrei funktioniert, gleichzeitig jedoch alle Beteiligten die Software des gewählten Herstellers benötigen. Beteiligte mit Software anderer Hersteller können nicht partizipieren. (Vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 4). Darüber hinaus wird die Verwendung verschiedener Software mit steigender Anzahl der Projektbeteiligten beinah unumgänglich, da kein Hersteller Produkte anbietet, die sämtliche Bereiche des Bauwesens abdecken.

Level 3: Aus diesem Grund ist das Ziel einer umfassenden BIM Implementierung, die Anwendung der Methode auf Level 3. Dabei handelt es sich um die „durchgängige Arbeit mit einem Gesamtmodell, das durch ein Common

Data Environment verwaltet wird, über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes“ (*Hausknecht* und *Liebich*, 2016, S. 47). Der wesentliche Unterschied zu Level 2 ist, dass die zu verwendende Softwarelandschaft nicht festgeschrieben wird und der Austausch über herstellerneutrale Formate sowie offene Standards erfolgt. Diese Form der BIM Anwendung wird daher auch als „open BIM“ bezeichnet (vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 6). Der große Vorteil von BIM auf Level 3 ist, dass sämtliche Projektbeteiligten in der Wahl ihrer Software frei sind. Im Umkehrschluss bedeutet dies aus Auftraggebersicht, dass der Markt potentieller Bieter nicht durch closed BIM Regelungen beschränkt wird. Anzumerken ist aktuell jedoch, dass der offene Austausch (noch) nicht fehlerfrei funktioniert und mit unterschiedlichen Problematiken behaftet ist, die hier nicht weiter ausgeführt werden.

Abbildung 31 zeigt die Level und die wesentlichen Unterschiede zusammenfassend in einer Übersicht. Die Einteilung stammt aus Großbritannien und wird als BIM Reifegradmodell (engl. BIM Maturity Model) bezeichnet (vgl. *Borrmann et al.*, 2015, S. 9).

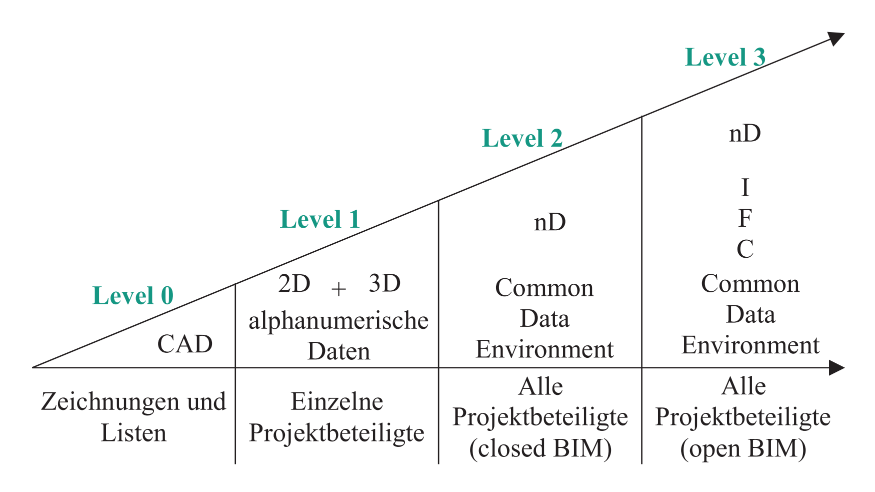


Abbildung 31: BIM Maturity Model in Anlehnung an PAS 1192-2:2013, vii

Dieses Konzept hat auch in Deutschland Einzug gefunden. In der DIN EN ISO 19650-1 werden die Reifegrade Stufen genannt. Abbildung 32 zeigt den

schematischen Aufbau. Beim Übergang von Stufe 0 auf Stufe 1 findet demnach zugleich der Wechsel vom analogen in das digitale Arbeiten statt, was im Hinblick auf die ursprüngliche Definition von Level 0 nicht zutreffend ist. Auch dort kann bereits digital gearbeitet werden.

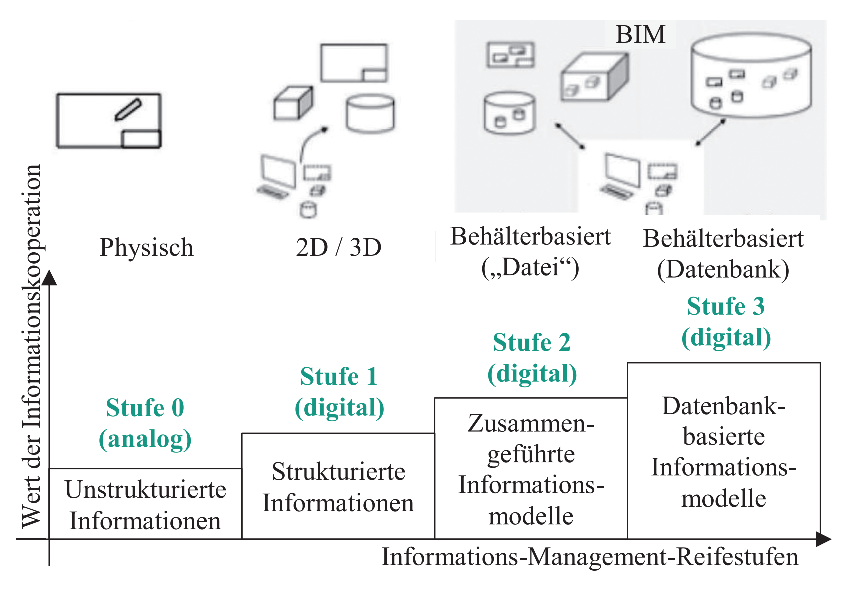


Abbildung 32: Reifestufen beim analogen und digitalen Informationsmanagement in Anlehnung an *DIN EN ISO* 19650-1, 2017, S. 14

Das BIM Maturity Model ermöglicht somit eine grobe Differenzierung des Anwendungsumfangs von BIM. Es liefert jedoch keine Informationen darüber, welche AWF tatsächlich angewendet werden. Dennoch wird es in vielen Publikationen zur Differenzierung der Implementierungstiefe von BIM herangezogen.

4.3.2 Internationaler Vergleich

In diesem Kapitel erfolgt ein internationaler Vergleich der Verbreitung von BIM gemäß dem BIM Maturity Model. Es werden beispielhafte Entwicklungen anderer Nationen vorgestellt, um den Status quo in Deutschland besser einschätzen zu können. Der Überblick erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Folglich bedeutet es nicht, dass nicht angesprochene Länder keine Entwicklung im Bereich BIM vorzuweisen haben.

Eine der bekanntesten Entwicklungen ist die aus Großbritannien, denn von dort stammt das bereits vorgestellte Modell der BIM-Level. Im Mai 2011 hat die britische Regierung eine neue Baustrategie herausgegeben, mit dem Ziel, die Kosten der Vermögenswerte im öffentlichen Sektor bis 2016 um 20% zu senken. Um das zu erreichen hatte sie festgesetzt, dass künftig alle Bieter für zentral ausgeschriebene Regierungsprojekte ab dem Jahr 2016 mindestens auf Level 2 anbieten müssen. (Vgl. *The British Standard Institution* und *Department for Business, Energy and Industrial Strategy*, 2019) Zwar wurde das Ziel zum genannten Datum nicht vollständig erreicht, dennoch verlief die Umsetzung in überwiegender Form erfolgreich (vgl. *Hamil*, 21.10.2016). Darüber hinaus hat Großbritannien bereits einen strategischen Plan zur Erreichung von Level 3 erarbeitet (vgl. *HM Government*, 2015). Level 3 soll ab Mitte der 2020er Jahre erreicht werden (vgl. *HM Government*, 2017). Abbildung 33 zeigt, dass auch im Jahr 2018 noch nicht alle Unternehmen auf Level 2 angekommen sind. Gleichzeitig sind laut dieser Studie[2] aber auch bereits 8 % der Befragten auf Level 3.

[2] Die Studie wurde im ersten Quartal 2018 durchgeführt und basiert auf 808 Antworten. NBS führt mit dem National BIM Report seit 2011 jährlich eine umfassende Umfrage zum Stand von BIM in Großbritannien durch.

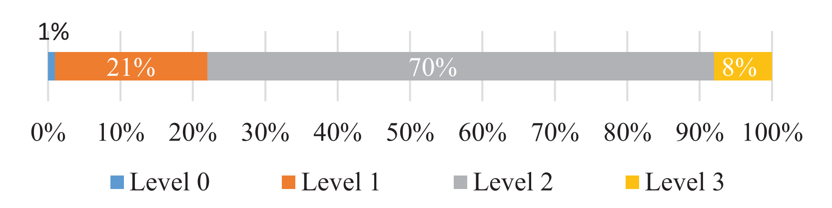


Abbildung 33: Verteilung des Reifegrads in Großbritannien in Anlehnung an *NBS* (2018, S. 24)

In Deutschland wurde bisher und wird nach wie vor ein ähnliches Konzept verfolgt. Ende 2015 präsentierte der damalige Bundesverkehrsminister Dobrindt den Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Ab Ende 2020 sollen alle Projekte im Zuständigkeitsbereich des Verkehrsministeriums auf Leistungsniveau 1 durchgeführt werden (vgl. *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*, 2015, S. 5). Leistungsniveau 1 hat eine sehr ähnliche Umsetzungstiefe wie das vorgestellte Level 2 (vgl. *Borrmann et al.*, 2018, S. 24). Eine vergleichbare Strategie für Projekte im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat existiert in dieser Form nicht. Allerdings hat das damalige Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2017 erlassen, dass die Anwendung von BIM für neue zivile Neu-, Um- und Erweiterungsbauvorhaben im Inland in seinem Zuständigkeitsbereich ab einem Baukostenvolumen von mehr als 5 Mio. € (brutto, ohne Baunebenkosten) zu prüfen ist (vgl. *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit* Erlass BIM 16.1.2017). Welche Vorschriften künftig bei privaten Bauprojekten einzuhalten sind, bleibt abzuwarten. Allerdings prognostizieren *Schober et al.* (2017, S. 8) die künftige Entwicklung für Deutschland. Demnach könnte etwa ab dem Jahre 2024 ein Niveau erreicht werden, dass in Teilen Level 3 entspricht.

Eine weitere Untersuchung mit 1.382 Befragten aus dem Jahr 2016 hat umfassender erarbeitet, auf welchen Leveln sich einzelne Länder und Regionen befinden. 27 % der Befragten stammten aus Deutschland. (Vgl. *Conject AG*, 2016, S. 7). Die Ergebnisse zeigt Abbildung 34. Auffällig ist, dass in Großbritannien mit Abstand am geringsten auf Level 0 gearbeitet wird und gleichzeitig deutlich größere Anteile an Level 1 und 2 zu verzeichnen sind, als bei

den anderen Ländern/Regionen. Das kann als Indiz für die Wirksamkeit der Strategie der britischen Regierung herangezogen werden.

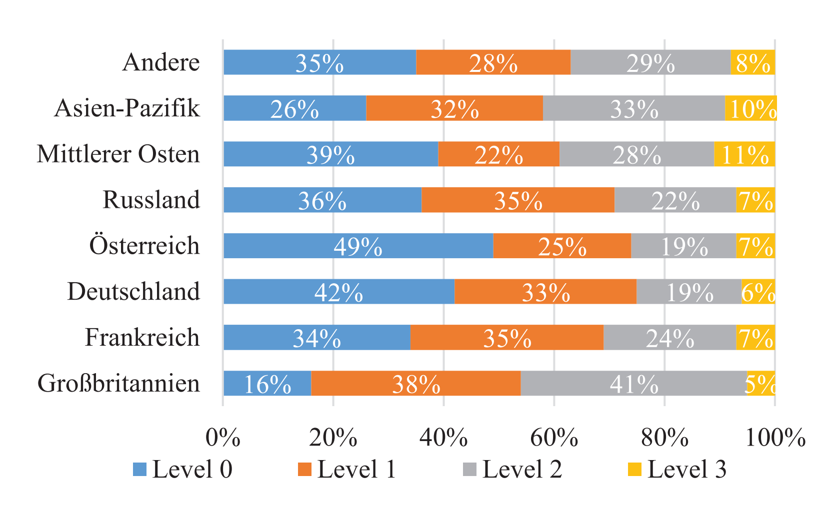


Abbildung 34: Reifegrade im internationalen Vergleich in Anlehnung an *Conject AG*, 2016, S. 19

Zur besseren Vergleichbarkeit wird der durchschnittliche gewichtete Reifegrad der Länder gebildet, indem der jeweilige Reifegrad mit dem zugehörigen Prozentsatz multipliziert und für alle Reifegrade aufsummiert wird.

$$\varnothing_{RG(BIM)} = RG_0 + RG_1 + RG_2 + RG_3$$

Formel 19: Berechnung des durchschnittlichen gewichteten Reifegrads von BIM

Die verwendeten Variablen sind dabei:

- $\varnothing_{RG(BIM)}$ = Durchschnittlicher gewichteter Reifegrad von BIM
- RG_0 = Prozentualer Anteil von Reifegrad auf Level 0
- RG_1 = Prozentualer Anteil von Reifegrad auf Level 1
- RG_2 = Prozentualer Anteil von Reifegrad auf Level 2
- RG_3 = Prozentualer Anteil von Reifegrad auf Level 3

Der Maximalwert beträgt 3,0 und wird erreicht, wenn alle auf Level 3 angekommen sind. Der Minimalwert wäre 0,0 wenn alle auf Level 0 arbeiten. Nach Formel 19 beträgt der Reifegrad für Deutschland 0,89.

Abbildung 35 zeigt, dass sich Deutschland an vorletzter Stelle befindet und Großbritannien mit 1,35 einen durchschnittlichen Reifegrad besitzt, der 52 % größer ist als der Wert für Deutschland. Der Mittelwert über alle Länder beträgt 1,08 und entspricht damit in etwa Level 1.

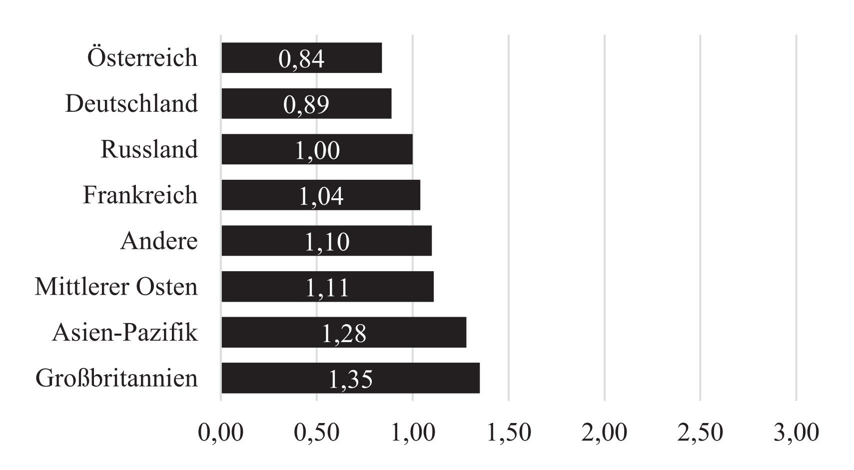


Abbildung 35: Durchschnittlicher gewichteter Reifegrad im internationalen Vergleich, eigene Berechnung auf Basis von *Conject AG*, 2016, S. 19

Abschließend gibt Abbildung 36 eine weltweite Übersicht mit Stand des Jahres 2017. Grün sind die Länder markiert, bei denen die Anwendung von BIM bei öffentlichen Projekten bereits verpflichtend oder die verpflichtende Einführung geplant ist. Die schwarze Markierung bedeutet, dass es in diesen Ländern Regelungen zur Anwendung von BIM bei öffentlichen Projekten gibt, diese jedoch nicht verpflichtend sind. Die graue Markierung stellt die Länder dar, bei denen es keine Regelungen zur Anwendung von BIM bei öffentlichen Projekten gibt bzw. keine gefunden wurden.

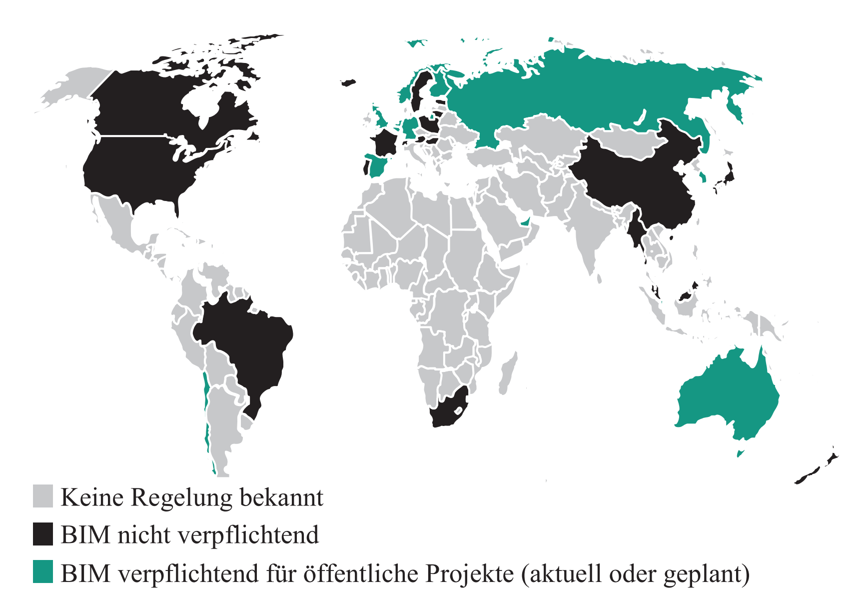


Abbildung 36: Weltweite Verbreitung von BIM auf Basis eigener Recherchen und *Schober et al.* (2017, S. 19)

Es ist anzumerken, dass es sich hierbei um eine stark vereinfachende Darstellung handelt, da keine Differenzierung in Bezug auf die anzuwendenden Level erfolgt. Dennoch entsteht eine gute Grobübersicht, die zeigt, dass auch Länder, die typischerweise nicht sofort mit Innovation oder Digitalisierung in Verbindung gebracht werden, entsprechende Entwicklungen anstreben. Zu erwähnen sind beispielsweise Russland oder Chile. In Russland gilt seit 2019 ein verpflichtender BIM Standard (vgl. *buildingSMART International*, 07.02.2018). Chile orientiert sich stark an dem britischen Konzept, wird auch von dort beraten und plant die verpflichtende Anwendung von BIM für öffentliche Infrastrukturprojekte ab 2020 (vgl. *British Embassy Santiago*, 28.11.2017). Die geplante Zeitschiene entspricht somit in etwa der von Deutschland. Für die gesamte Europäische Union gibt es darüber hinaus eine Arbeitsgruppe, die strategische Maßnahmen zur Verbesserung der Leistung des Bauwesens und ein Handbuch für die Einführung von BIM durch den europäischen öffentlichen Sektor entwickelt hat (vgl. *EU BIM Taskgroup*,

2017). Ziel ist es, anhand von bisherigen Erfahrungen Entwicklungen zu skizzieren und öffentlichen Auftraggebern eine Hilfestellung zu geben. Vorhandene Gelder sollen möglichst effizient eingesetzt werden, der Gewinn also bei gegebenen Mitteln größtmöglich werden. Es wird erwartet, dass sich durch die Verbreitung von BIM im globalen Infrastrukturmarkt bis zum Jahr 2025 Einsparungen in Höhe von 15 bis 25 % ergeben. Bei einem europäischen Marktvolumen des Bausektors in Höhe von 1,3 Billionen Euro würde bereits eine Reduktion durch BIM in Höhe von 10 % eine Einsparung von 130 Milliarden Euro bedeuteten, die anderweitig zur Verfügung stünden. (vgl. *EU BIM Taskgroup*, 2017, S. 4)

Am Ende des vorherigen Kapitels wurde bereits angesprochen, dass es sich bei der Unterteilung in die BIM Level um einen groben Ansatz zur Differenzierung des Implementierungs- oder Anwendungsumfangs von BIM handelt. Daher wurden tiefergehende Ansätze entwickelt, um den Reifegrad (maturity) von BIM und die Fähigkeiten (capability) der einzelnen Anwender und Beteiligten genauer bestimmen zu können.

4.4 Tiefergehende Ansätze

4.4.1 Interactive Capability Maturity Model

Eines der ältesten Modelle ist das Capability Maturity Model vom NBIMS-US, dass nicht mit dem CMM aus Kapitel 4.2 verwechselt werden darf. Es wurde im Jahr 2007 mit dem Ziel veröffentlicht, die Einhaltung eines Minimalstandards bei der Anwendung von BIM prüfen und damit gewährleisten zu können (vgl. *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance*, 2007, S. 8). Es wurde gleichzeitig in Form eines interaktiven Excel-Tools bereitgestellt. Daher wird es als Interacitve Capability Maturity Model (I-CMM) bezeichnet (vgl. *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance*, 2007, S. 156). Dennoch beruht es in Teilen auf dem CMM. Während CMM den Fokus auf Softwareentwickler richtet, wurde das I-CMM für die Zielgruppe Bauwirtschaft entwickelt (vgl. *National Institute*

of Building Sciences buildingSMART alliance, 2015b, S. 3). Der Schwerpunkt liegt auf der Bewertung der Organisation und der Qualität des Datenaustauschs (vgl. *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance*, 2015b, S. 5). Die Anwendung selbst ist einfach. Jedes der folgenden elf Kriterien (A-K) wird mit dem zutreffenden Reifegrad zwischen 1 und 10 bewertet:

- Datenreichtum (A)
- Lebenszyklusbetrachtungen (B)
- Rollen und Disziplinen (C)
- Geschäftsprozesse (D)
- Art der Bereitstellung (E)
- Rechtzeitigkeit (F)
- Änderungsmanagement (G)
- Grafische Informationen (H)
- Räumliche Fähigkeit (I)
- Informationsgenauigkeit (J)
- Interoperabilität (K)

Die einzelnen Reifegrade sind für jedes Kriterium in Form weniger Worte beschrieben, um eine verlässliche Abstufung bzw. Einordnung zu ermöglichen. Anschließend werden die einzelnen Reifegrade aufsummiert. Das geringste Bewertungsergebnis wäre somit der Wert 11 (wenn alle Kriterien mit Reifegrad 1 bewertet werden). Das höchste Ergebnis wäre 110 (wenn alle Kriterien mit Reifegrad 10 bewertet werden). In einer verfeinerten Anwendung können die Kriterien unterschiedlich gewichtet werden. Der Wert 40 stellt die Minimalanforderung dar. Ergibt die Bewertung einen geringeren Wert, sollte nicht von einer Anwendung von BIM gesprochen werden (vgl. *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance*, 2015b, S. 6). Ab 50 Punkten wird das Level „Zertifiziert“, ab 70 Punkten „Silber“, ab 80 Punkten „Gold“ und ab 90 Punkten „Platinum“ erreicht (vgl. *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance*, 2007, S. 78).

4.4.2 BIM Maturity Matrix

Auf Basis des CMM (vgl. Kapitel 4.2), elf weiterer bestehender Reifegradmodelle (vgl. *Succar*, 2010, S. 75-77) und sechs weiterer allgemeiner Bewertungsmodelle für Leistung und Qualität (vgl. *Succar*, 2010, S. 79 f.) entwickelte *Succar* (2010) die BIM Maturity Matrix. Anhand einer Vielzahl einzeln bewertbarer Kriterien errechnet sich mit Hilfe der Matrix ein Punktwert für die BIM Reife, wobei es sich an einigen Stellen um theoretische Überlegungen im Sinne eines ersten Gedankenansatzes handelt, anstatt konkrete und vollständig beschriebene Ausgestaltungen. Das Vorgehen zur Ermittlung des Reifegrads wird in Anlehnung an *Succar* (2010, S. 87-96) vereinfachend anhand der folgenden Schritte skizziert:

1. Festlegen des Betrachtungsmaßstabs: Hier wird zwischen 12 Betrachtungsmaßstäben unterschieden, beginnend mit einem sehr groben Maßstab 1 (dem Weltmarkt) bis hin zum kleinteiligsten Maßstab 12 (einer einzelnen Person). Relevant für diese Arbeit sind die Maßstäbe 8 bis 12, in denen unternehmensübergreifende Projektteams (Maßstab 8), einzelne Unternehmen (Maßstab 9), einzelne Abteilungen (Maßstab 10), unternehmensinterne Teams (Maßstab 11) und einzelne Personen (Maßstab 12) betrachtet werden. Die Maßstäbe 1 bis 7 sind die sogenannte Makroebene, Maßstab 8 die Mesoebene und die Maßstäbe 9 bis 12 die Mikroebene. (Vgl. *Succar*, 2010, S. 78). Gleichzeitig handelt es sich bei den Betrachtungsmaßstäben um Implementierungsschritte. Succar geht davon aus, dass einzelne Fähigkeiten im Zusammenhang mit BIM zunächst allgemein im Bereich von Maßstab 1 verfügbar sein müssen, bevor sie Schritt für Schritt tiefer bis hin zu jeder einzelnen Person (Maßstab 12) implementiert sind. Dieser Ansatz ist fragwürdig, da bspw. einzelne Fähigkeiten zuerst bei einzelnen Personen (Stufe 12) vorhanden sein sollten, bevor sie im Projekt (Stufe 8) angewendet werden können.
2. Festlegen der Granularität der zu bewertenden Fähigkeiten: Hier wird zwischen 4 Granularitätsstufen unterschieden, beginnend mit einer groben Stufe 1 (zur Selbstbewertung anhand von 10 groben Fähigkeiten) über Stufe 2 (bei der die 10 Fähigkeiten auf 36 feinere Teilaspekte

aufgeteilt wurden) bis hin zur aufwändigsten Stufe 4 (im Rahmen einer Auditierung mit externen Beratern) (vgl. *Succar*, 2010, S. 92). Die einzelnen Fähigkeiten auf Stufe 1 und 2 benennt *Succar* (2010, S. 72). Die Detaillierung auf den Stufen 3 und 4 ist nicht beschrieben.

3. Bewerten des Reifegrads der einzelnen Fähigkeiten: *Succar* (2010, S. 88-91) unterscheidet zwischen fünf Reifegraden, beginnend bei A (initiiert) über B (definiert), C (verwaltet) und D (integriert) bis hin zu E (optimiert).[3] Für jede Fähigkeit auf Granularitätsstufe 1 sind die einzelnen Reifegrade textlich beschrieben. (Vgl. *Succar*, 2010, S. 88-91)
4. Bestimmen der aktuellen und der geplanten Fähigkeitsstufe: Hier wird im Zusammenhang mit BIM zwischen 4 Stufen unterschieden, beginnend bei Stufe 0 (Pre-BIM) über Stufe 1 (Modellierung) und Stufe 2 (Kollaboration) bis hin zu Stufe 3 (Integration) (vgl. *Succar*, 2010, S. 70 f.). Vereinfachend handelt es sich bei den Fähigkeitsstufen um eine Bündelung der einzelnen Fähigkeiten in Abhängigkeit des Reifegrads und des Betrachtungsmaßstabs. Eine Beschreibung, welche Fähigkeit auf welchem Betrachtungsmaßstab welchen Reifegrad erreichen muss, um bspw. Fähigkeitsstufe 2 zu erreichen, liegt nicht vor.

Abbildung 37 stellt das Ergebnis einer fiktiven Bewertung von *Succar* (2010, S. 95) zum besseren Verständnis dar. Auf der x-Achse sind einzelne Fähigkeiten aufgetragen (in diesem Fall 10 Fähigkeiten der groben Granularitätsstufe 1 zur Selbstbewertung). Die y-Achse zeigt die 12 Betrachtungsmaßstäbe bzw. Implementierungsschritte der jeweiligen Fähigkeit. Jede einzelne Fähigkeit ist hinsichtlich ihres Reifegrads bewertet. Die grünen Felder bedeuteten, dass die Kompetenz mit dem zugehörigen Reifegrad auf dem jeweiligen Schritt vorhanden ist. Weiße Felder mit grüner Schrift bedeuten, dass die Entwicklung aktuell angestrebt, graue Felder hingegen, dass die Stufe aktuell nicht angestrebt wird. Rot sind die drei Fähigkeitsstufen dargestellt. Im Beispiel wird Fähigkeitsstufe 1 vollständig erreicht. Fähigkeitsstufe 2 ist jedoch nur in Teilen erfüllt.

[3] Hierzu wird auch auf Kapitel 5.2.2 verwiesen.

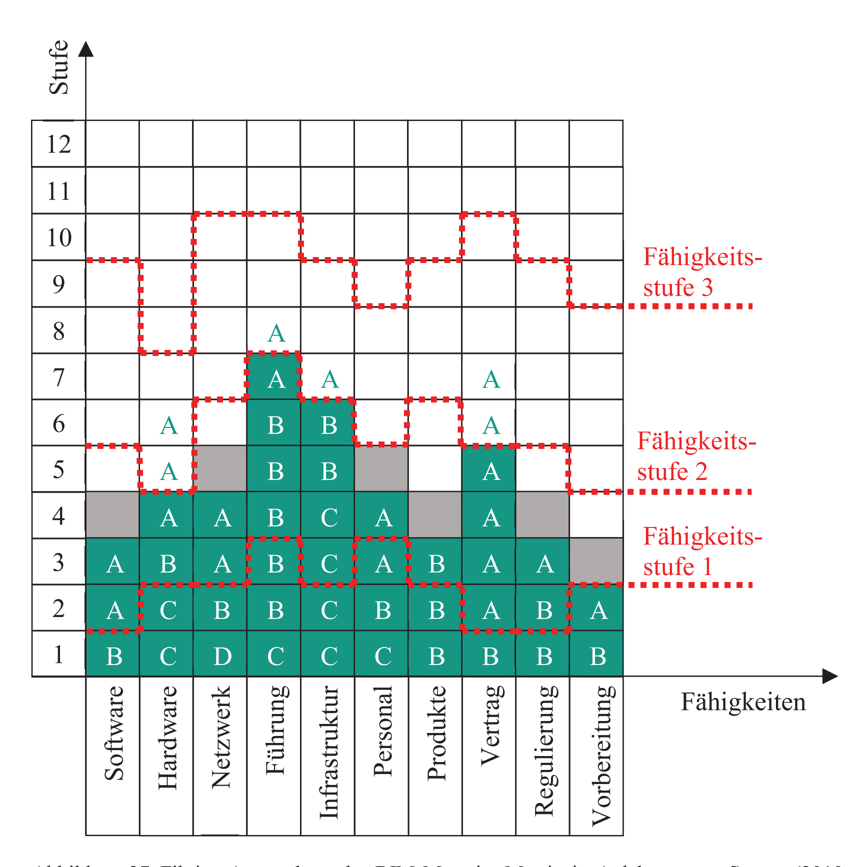


Abbildung 37: Fiktive Anwendung der BIM Maturity Matrix in Anlehnung an *Succar* (2010, S. 95)

Succar (2010, S. 94) ordnet den fünf Reifegraden Punktwerte von 10 (A) bis 50 (E) zu. Losgelöst von Abbildung 37 führt er gemäß Tabelle 11 eine beispielhafte Bewertung der zehn vorgestellten Fähigkeiten durch und bewertet zusätzlich den Betrachtungsmaßstab bzw. den Implementierungsschritt und die Granularität.

Tabelle 11: Berechnung des BIM Maturity Score nach *Succar* (2010, S. 96)

Fähigkeit	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Software			30		
Hardware	10				
Netzwerk		20			
Führung				40	
Infrastruktur			30		
Personal		20			
Produkte		20			
Vertrag		20			
Regulierung			30		
Vorbereitung				40	
Betrachtungsmaßstab			30		
Granularität		20			
SUMME je Reifegrad	**10**	**100**	**120**	**80**	**0**
SUMME Gesamt	**310**				
BIM Maturity Score	**310/12 = 25,8**				

Die einzelnen Punktwerte werden addiert und durch die Anzahl der verwendeten Kriterien (hier 10 Fähigkeiten + Betrachtungsmaßstab + Granularität = 12) geteilt. Diesen Wert bezeichnet er als „BIM Maturity Score“. Im Beispiel beträgt er 25,83. Der Minimalwert wäre 0, der Maximalwert 50. Unklar bleibt, wie eine tatsächliche Bewertung gemäß Abbildung 37 erfolgen könnte. Es stellt sich die Frage, ob die Werte der Fähigkeiten in den einzelnen Betrachtungsmaßstäben addiert werden oder ob stets eine Bewertung für einen einzelnen ausgewählten Betrachtungsmaßstab erfolgt.

Succar liefert mit seinen Überlegungen interessante Ansätze zur präzisen Bestimmung des Reifegrads von BIM, führt seine Ansätze aber in seinen Veröffentlichungen nicht fort. Beispielsweise zieht er keinen Vergleich zum in Kapitel 4.3 vorgestellten BIM Maturity Model, obwohl dieser durch die Festlegung der Fähigkeitsstufen naheliegend wäre. Eine gedankliche Weiterentwicklung seiner Ideen wäre es, die Fähigkeitsstufen konkret zu beschreiben. Unter der Annahme, dass Fähigkeitsstufe 1 in Anlehnung an BIM Level 1 definiert würde, könnte eine präzisere Beschreibung und Berechnung der BIM Level erfolgen. Eine dahingehende Normierung würde eine standardisierte und nachvollziehbare Bestimmung des Reifegrads von BIM ermöglichen. Diese Überlegungen werden im Verlauf der Arbeit aufgegriffen, um die Wirtschaftlichkeit einzelner AWF und damit von BIM im Gesamten modellieren zu können.

4.4.3 VDC Scorecard/bimSCORE

Das strategische Management bildet eine zentrale Disziplin der Wirtschaftswissenschaften und untersucht, warum einige Unternehmungen in einer Branche erfolgreich sind, andere nicht und welche Strategien zu einer Verbesserung führen könnten (vgl. *Gabler Wirtschaftslexikon*, 2018a). Ein Konzept, das dabei helfen soll, ist die Balanced Scorecard. Sie verbindet vier Perspektiven (finanzielle Unternehmensperspektive, Kundenperspektive, interne Prozessperspektive sowie die Lern- und Entwicklungsperspektive) und hilft Unternehmen damit nicht nur bei der Strategiefindung, sondern unterstützt sie auch bei der Umsetzung (vgl. *Kaplan* und *Norton*, 1992). Darauf aufbauend wurde am Center for Integrated Facility Management der Standford University die VDC Scorecard entwickelt (vgl. *Kam et al.*, 2016). Kommerziell wird die Anwendung der VDC Scorecard im Wesentlichen von deren Entwicklern unter dem Namen bimSCORE vertrieben (vgl. *bimSCORE*, 2019).

Virtual Design and Construction (VDC) bezeichnet die Verwendung von integrierten multidisziplinären Modellen im Rahmen von Planungs- und Bauprojekten, um die Erreichung der eigentlichen Geschäftsziele zu unterstützen

(vgl. *Kunz* und *Fischer*, 2012, S. 1). Aufgrund dieser breitgefassten Definition stellt sich die Frage, was der Unterschied zwischen VDC im Vergleich zu BIM ist. „Sicherlich verlaufen die Grenzen hier schwimmend, aber VDC kann vielleicht als ein engerer Teil […] unter dem breiteren Dach des BIM gesehen werden" (*Trimble*, 2018). Auch die Entwickler der VDC Scorecard liefern keine präzise Abgrenzung, beschreiben jedoch, dass BIM für die Bauwirtschaft mehrere Vorteile liefert (vgl. *Center for Integrated Facility Management*, 2019a):

- Höhere Zielgenauigkeit bei Planung und Bau
- Geringere Kosten
- Beschleunigte Terminpläne
- Verbesserte Kommunikation
- Verbesserte Arbeitssicherheit

Sie beschreiben weiter, dass die genannten Vorteile am besten erreicht würden, wenn die zugehörigen Strukturen und Ressourcen speziell im Hinblick auf die Optimierung der jeweiligen Projektergebnisse ausgewählt würden. Daraus ergäbe sich der Begriff VDC. (vgl. *Center for Integrated Facility Management*, 2019a)

Eine Schlussfolgerung zur Abgrenzung von BIM und VDC ist folglich, dass unter VDC, die Anwendung von BIM speziell mit dem Fokus auf der Verbesserung der Projektziele, verstanden werden kann. Die VDC Scorecard kann somit als Werkzeug gesehen werden, den Nutzen von BIM im Hinblick auf die Erreichung der Projektziele zu messen.

Eine andere Begriffsabgrenzung nehmen *Hausknecht* und *Liebich* (2016, S. 48) vor. Demnach beziehe sich der englische Begriff „Building" im Kontext von Building Information Modeling i.d.R. auf Gebäude und damit den Hochbau, während im Tiefbau der Begriff Virtual Design and Construction verwendet werde.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl weiterer Diskussionen und Vorschläge zur Abgrenzung von BIM und VDC, wovon einige BIM als Teilmenge von VDC sehen. BIM sei das eigentliche Werkzeug, während VDC die Anwendung des Werkzeugs beschreibe (vgl. *Khan*, 2015 und *Trimble*,

2017). Im Hinblick auf die in dieser Arbeit vorgestellte Definition von BIM als Methode wird den Begriffen derselbe Bedeutungsumfang zugeschrieben.

Die Scorecard untersucht in den vier übergeordneten Bereichen Planung, Umsetzung, Technologie und Leistung, die sich wiederum aus 10 Abteilungen zusammensetzen, insgesamt 56 Kriterien. Zudem gibt es eine verkürzte Version mit 22 Kriterien. Bereits für die verkürzte Version beträgt die durchschnittliche Dauer zur Beantwortung der Fragen vier Stunden (vgl. *Center for Integrated Facility Management*, 2019c). Die Scorecard kann somit als ein sehr zeitaufwändiges, aber auch detailliertes Tool gesehen werden. Die Fragen selbst sind unterschiedlich aufgebaut. Beispielsweise wird mittels einfachem Ankreuzen abgefragt, welche Elemente dreidimensional modelliert werden (vgl. *Center for Integrated Facility Management*, 2017, S. 9, Frage A3-D2-M1.0) oder welche Software verfügbar ist (vgl. *Center for Integrated Facility Management*, 2017, S. 4, Frage A1-D2-M4.0). Darüber hinaus gibt es deutlich umfangreichere Fragen, die eine Vielzahl an Punkten detailliert untersucht (vgl. *Center for Integrated Facility Management*, 2017, S. 2, Frage A1-D1-M2.0). Die jeweils erreichten Punkte werden zu einem Gesamtwert aufsummiert, wobei die Abteilungen und übergeordneten Bereiche gemäß Abbildung 38 unterschiedlich gewichtet werden. Der Bereich Planung hat einen Anteil am Gesamtpunktwert in Höhe von 20 %, der Bereich Organisation ebenfalls 20 %, der Bereich Technologie 25 % und der Bereich Leistung 35 %. Die Zahl in Klammern in Abbildung 38 gibt die Anzahl der jeweiligen Kriterien an. Beispielsweise umfasst die Abteilung Zielsetzung fünf Kriterien. Der Anteil an der Gesamtbewertung beträgt 8 %.

Ein Kritikpunkt an der VDC Scorecard im wissenschaftlichen Sinne ist, dass es keine präzise Erläuterung gibt, wie die einzelnen Antworten in Punktwerte umgerechnet werden. Das Hinterfragen der Ergebnisse wird dadurch nicht möglich. Zudem kann die unterschiedliche Gewichtung der Abteilungen und Bereiche kritisch gesehen werden. Beispielsweise haben die Bewertungen der Leistung einen größeren Einfluss auf den Gesamtwert als die Bewertungen im Bereich der Planung.

Allerdings bietet die Scorecard auf der anderen Seite und gegenüber den bisher vorgestellten Ansätzen den Vorteil, dass ein Benchmarking der eigenen

Bewertung möglich wird, denn es wurden über 150 vergleichende Untersuchungen an 108 Projekten im Rahmen der Entwicklung durchgeführt (vgl. *Kam et al.*, 2016, S. 16). Abbildung 38 zeigt die so ermittelten Durchschnittswerte der 108 Projekte (Benchmarkwerte) in Form einer zweiten Prozentzahl neben dem Wert in Klammern.

Der durchschnittliche Gesamtwert beträgt 50 %, auf Ebene der übergeordneten Bereiche erreicht der Organisationsteil die durchschnittlich höchste Bewertung und auf Ebene der Abteilungen ergibt sich mit 61 % der höchste Wert bei dem Umfang der Technologieabdeckung.

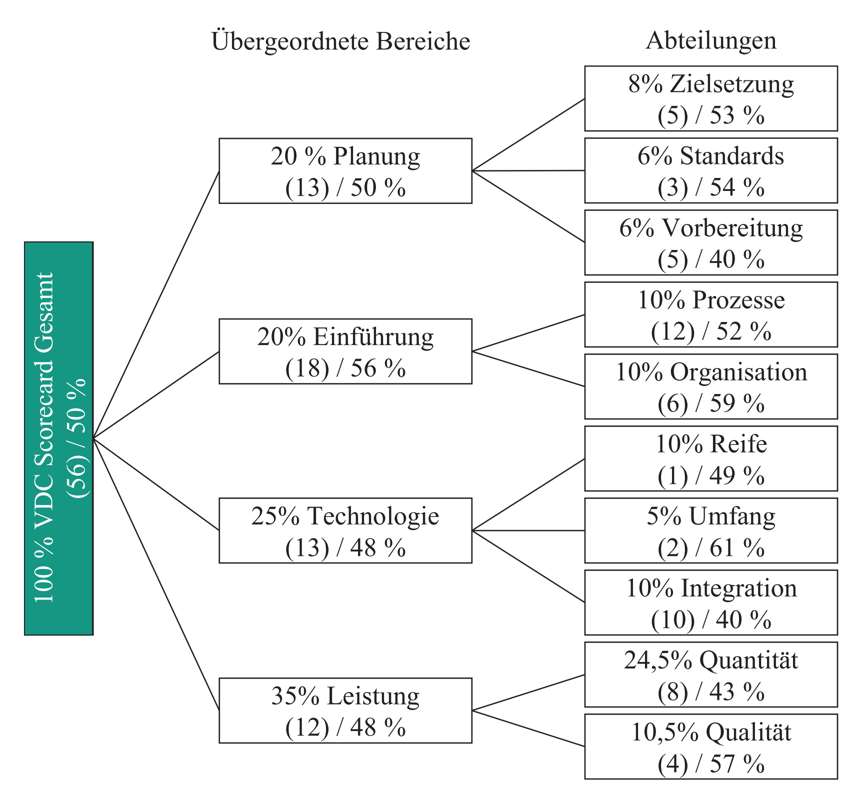


Abbildung 38: Funktionsweise der VDC Scorecard in Anlehnung an Kam et al. (2016, S. 11) und Center for Integrated Facility Management (2019b)

Abschließend klassifiziert die VDC Scorecard die erreichten Prozentwerte in fünf Kategorien:

- 0 % bis 25 %: Konventionelle Umsetzung
- Ab 25 % bis 50 %: Typische Umsetzung
- Ab 50 % bis 75 %: Fortgeschrittene Umsetzung
- Ab 75 % bis 90 %: Erfolgreiche Umsetzung
- Ab 90 % bis 100 %: Innovative Umsetzung

Der durchschnittliche Wert der 108 Projekte (Benchmarkwert) für die Gesamtbewertung fällt mit 50 % somit gerade in den Bereich der fortgeschrittenen Umsetzung, wobei die übergeordneten Bereiche Technologie und Leistung darunterfallen und der typischen Umsetzung zuzuordnen sind.

Die Auswertung der Projekte zeigt Abbildung 39 detaillierter. Es wird ersichtlich, dass zwar insgesamt (VDC Gesamt) nur 2 % der Projekte konventionell umgesetzt wurden, gleichzeitig jedoch auch kein Projekt in die höchste Kategorisierungsgruppe (Innovative Umsetzung) fällt.

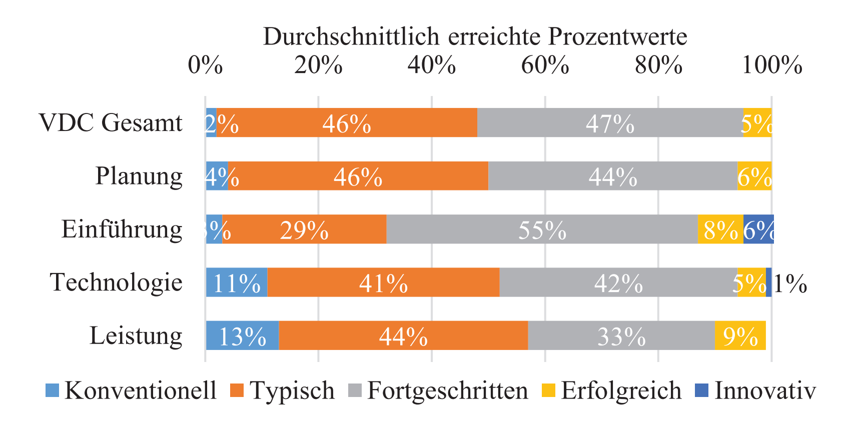


Abbildung 39: Durchschnittliche Bewertung alle bewerteten Projekte der VDC Scorecard auf Basis von Center for Integrated Facility Management (2019b)

Auf Ebene der übergeordneten Bereiche verteilen sich die Bewertungen über die fünf Kategorien in etwa ähnlich, wobei hervorzuheben ist, dass einzelne

Projekte bei der Einführung und der verwendeten Technologie bereits als innovativ kategorisiert wurden. Umfassendere statistische Auswertungen finden sich auf der entsprechenden Homepage des *Center for Integrated Facility Management*, 2019b. Durch die differenziert vorliegenden Benchmarkwerte kann jedes Projekt entsprechend eingeordnet und eine vergleichende Aussage über den erreichten Reifegrad getroffen werden.

4.4.4 BIM Assessment Profile/ Maturity Measurement

Wesentliche Forschung zum Reifegrad von BIM erfolgte durch die Pennsylvania State University. Am College of Engineering hat die Computer Integrated Construction Research Group unter Leitung von John Messner (vgl. *Penn State University*, 2015) zwei bedeutende und vielzitierte Publikationen erarbeitet. Das ist zum einen der BIM Project Execution Planning Guide (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011) der Bestandteil des NBIMS-US ist (vgl. Kapitel 2.2) und zum anderen der BIM Planning Guide for Faciltiy Owners (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2013). Letzterer beschreibt sechs Kernelemente der BIM Planung aus Sicht der Eigentümer (Facility Owners) (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2013, S. 7), die in der linken Spalte von Tabelle 12 dargestellt sind.

Die Kernelemente sind in insgesamt 20 Unterelemente differenziert. Der jeweilige Reifegrad ist in die Stufen 0 bis 5 unterteilt. Zunächst ist der aktuelle Reifegrad (Ist-Situation) zu bestimmen, indem für jedes Unterelement eine Auswahl zwischen 0 und 5 getroffen und die Summe der bewerteten Unterelemente des jeweiligen Kernelements gebildet wird. Eine beispielhafte Bewertung zeigt Tabelle 12 in der Spalte „Ist".

Für jedes Unterelement beträgt der höchstmögliche Reifegrad 5. Der Maximalwert des Kernelements ergibt sich somit durch die Anzahl der darin enthaltenen Unterelemente. Alle Elemente werden gleich gewichtet, sodass der maximal mögliche Gesamtwert 100 beträgt (20 Unterelemente x Reifegradstufe 5). Ausgehend von dieser Bestimmung des Ist-Zustands wird im nächsten Schritt der Soll-Zustand definiert, in dem die jeweilige Soll-Reife-

gradstufe der einzelnen Unterelemente festgelegt wird. (Vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2013, S. 9-13).

Tabelle 12: Kernelemente, Unterelemente und Maximalwerte des BIM Assessment Profile des *Computer Integrated Construction Research Programm* (2013), ergänzt um exemplarische Ist- und Sollwerte

Kernelemente	**Unterelemente**	**Maximalwert**	**Ist**	**Soll**
Strategie	5	25	11	17
Anwendungsfälle	2	10	2	5
Prozesse	2	10	2	5
Information	3	15	0	0
Infrastruktur	3	15	0	0
Personal	5	25	0	0
GESAMT	**20**	**100**	**15**	**27**

Abbildung 40 zeigt die beispielhafte prozentuale Bewertung aus Tabelle 12 in Bezug zum Maximalwert grafisch. Für das Kernelement Strategie beträgt der Ist-Wert beispielsweise 11/25 = 44 %.

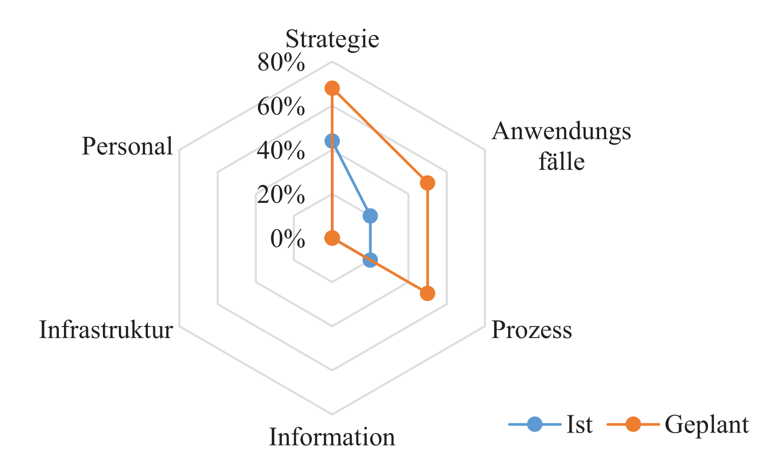


Abbildung 40: Exemplarische Anwendung des BIM Assessment Profile in Anlehnung an Computer Integrated Construction Research Programm (2013, S. 12)

Auf diesem Modell aufbauend wurde von den beiden britischen Ingenieurbüros Arup und Atkins das sog. BIM Maturity Measurement Tool (eine Excel-basierte Anwendung) entwickelt (vgl. *Jensen*, 2015). Es wird u. a. auch von *buildingSMART International* als Tool zur Bestimmung des Reifegrads von BIM Projekten angeboten. Gleichgeblieben ist die Einteilung in sechs Reifegradstufen. Allerdings lässt das Tool eine differenziertere Bewertung anhand von bis zu 31 einzelnen Projektdisziplinen zu, die jeweils wiederum eine unterschiedliche Anzahl an untergeordneten Kriterien besitzen. Zudem sind die Kriterien unterschiedlich gewichtet.

Das Modell kann damit als eines der umfangreichsten Bewertungsmodelle bezeichnet werden, gleichzeitig aber auch als ein sehr aufwändiges. Die Notwendigkeit einer so kleinteiligen Bewertung, insbesondere im Hinblick auf die Aussagekraft bzw. die subjektive Beeinflussbarkeit dieser vielen einzelnen Stellschrauben ist kritisch zu hinterfragen.

4.4.5 InfraBIM-Reifegradmetrik

In Deutschland konnten sich die vorgestellten Ansätze bisher nicht umfassend durchsetzen und werden in der Literatur nur vereinzelt angesprochen. Dennoch wurde ein deutschsprachiger Ansatz zur Bestimmung des Reifegrads von BIM bei Infrastrukturprojekten entwickelt. Zum Zeitpunkt der abschließenden Recherchen für die vorliegende Arbeit wurde kein deutschsprachiger Ansatz zur Bestimmung des Reifegrads von BIM speziell bei Hochbauprojekten gefunden.

Das BMVI förderte zur Implementierung von BIM vier Pilotprojekte zum Testen von unterschiedlichen Anwendungsumfängen. Dabei handelt es sich um die folgenden Projekte (vgl. *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*, 2017, S. 7):

- Bahnprojekt Tunnel Rastatt (*Borrmann et al.*, 01.08.2017d)
- Bahnprojekt Brücke Filstal (*Borrmann et al.*, 01.08.2017b)
- Straßenbauprojekt Brücke Petersdorfer See (*Borrmann et al.*, 01.08.2017a)
- Straßenbauprojekt Brücke Auenbachtal (*Borrmann et al.*, 01.08.2017c)

Die wissenschaftliche Begleitung der Projekte hat zur Analyse der einzelnen Projekte und für einen projektübergreifenden Vergleich die InfraBIM-Reifegradmetrik entwickelt (vgl. *Borrmann et al.*, 2017). Diese basiert im Wesentlichen auf der VDC Scorecard (vgl. Kapitel 4.4.3) und dem BIM Maturity Measurement Tool (vgl. Kapitel 4.4.4) (vgl. *Borrmann et al.*, 2017, S. 215 f.). Da die bestehenden Ansätze jedoch nicht die Spezifika des deutschen Markts (z. B. HOAI) berücksichtigen, erfolgte die Eigenentwicklung, „die die deutschen Randbedingungen berücksichtigt, besser auf Infrastrukturprojekte ausgelegt ist und einen adäquaten Detaillierungsgrad aufweist“ (*Borrmann et al.*, 2017, S. 216). Die InfraBIM-Reifegradmetrik umfasst 62 Kriterien, die jeweils mit Punkten von 0 (nicht vorhanden) bis 5 (optimal umgesetzt) bewertet werden (vgl. *Borrmann et al.*, 2017, S. 216). Für jedes Kriterium existieren somit sechs unterschiedliche Stufen (0, 1, 2, 3, 4 und 5). Die Kriterien selbst betrachten unterschiedliche Bereiche von BIM, beispielsweise fragen einige

die Umsetzung konkreter BIM-Anwendungsfälle ab, und sind in 10 übergeordnete Bereiche eingeteilt. Tabelle 13 zeigt die Anzahl der Kriterien (absolut und prozentual) im jeweiligen übergeordneten Bereich. Für jeden Bereich wird die Summe der bewerteten Kriterien gebildet (vgl. *Borrmann et al.*, 2017, S. 216) und im Anschluss durch die Anzahl der Kriterien im Bereich geteilt. Somit ergibt sich für jedes Kriterium und für jeden übergeordneten Bereich eine Punktzahl zwischen 0 (Minimalwert) und 5 (Maximalwert). Eine Übersicht mit allen Kriterien und den jeweils zugehörigen und ausformulierten Stufen findet sich in *Borrmann et al.* (2016).

Tabelle 13: Kriterien der InfraBIM-Reifegradmetrik gemäß Borrmann et al. (2016, S. 21-38)

Übergeordneter Bereich	**Anzahl Kriterien**	**Prozentualer Anteil (gerundet)**
AIA	1	1,6 %
BAP	6	9,7 %
Technologie	4	6,5 %
Verträge	6	9,7 %
BIM-Team	5	8,1 %
LPh 2-3	17	27,4 %
LPh 4-5	12	19,3 %
LPh 6-7	2	3,2 %
LPh 8	7	11,3 %
Betrieb	2	3,2 %
SUMME	**62**	**100 %**

Mit einem Anteil von 27,4 % betrachtet der größte Teil der Kriterien ausschließlich die HOAI Leistungsphasen (LPh) Vorentwurf und Entwurf (2-3), während die Auftraggeber-Informations-Anforderungen (AIA), HOAI LPh

6-7 und die Betriebsphase nur mit 1-2 Kriterien berücksichtigt werden. Durch die unterschiedlich hohen Anteile der einzelnen übergeordneten Bereiche ist es wichtig, dass bei einem projektübergreifenden Vergleich jeweils nur übergeordnete Bereiche miteinander verglichen werden und kein Gesamtpunktwert gebildet wird. Dieser wäre in den meisten Fällen nicht aussagekräftig und könnte zu Fehlinterpretationen führen (vgl. *Borrmann et al.*, 2017, S. 216).

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung wurde die entwickelte Reifegradmetrik auf die vier genannten Pilotprojekte angewandt. Abbildung 41 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Projekte sowie den zusammengefassten Durchschnitt differenziert nach den 10 übergeordneten Bereichen. Bei keinem Pilotprojekt wurde BIM vollumfassend verwendet, sodass einzelne Bereiche nicht Gegenstand der wissenschaftlichen Begleitung waren und nicht bewertet wurden. Beispielsweise wurde BIM bei den Bahnprojekten nicht in LPh 2-3, sondern nur in LPh 4-5 genutzt, während bei der Brücke Auenbachtal BIM nur bei LPh 2-3 Verwendung fand.

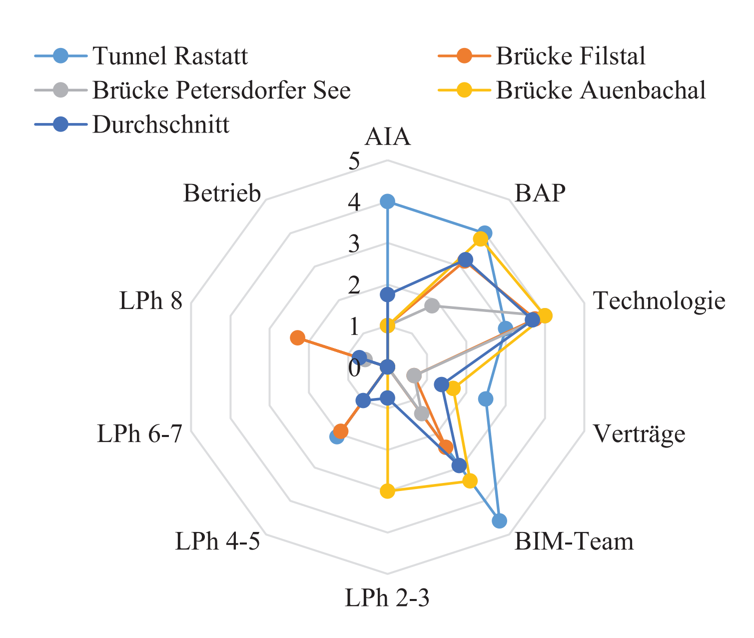


Abbildung 41: InfraBIM-Reifegrad der BMVI Pilotprojekte

Die Auswertung erfolgte auf Basis der Endberichte der wissenschaftlichen Begleitungen zu den vier Pilotprojekten (siehe Quellenangabe zu Beginn des Kapitels 4.4.5). In anderen Quellen[4] [5] werden zum Teil leicht abweichende Werte für den durchschnittlichen Reifegrad der vier Pilotprojekte publiziert. Der durchschnittlich höchste Reifegrad wird mit 3,7 im Bereich Technologie respektive 3,2 im Bereich BAP erreicht, während bei der Pilotierung BIM in LPh 6-7 und im Betrieb überhaupt keine Verwendung fand und daher mit 0 bewertet ist. Die Reife bzw. die Anwendung von BIM befindet sich folglich bei diesen Pilotprojekten noch im Anfangsstadium, was sich auch auf die Situation von BIM in ganz Deutschland übertragen lässt.

4.5 Zusammenfassung weiterer Ansätze

Neben den bisher vorgestellten Ansätzen gibt es weltweit weitere Forschungsarbeiten, die sich mit dem Reifegrad von BIM auseinandersetzen. Dazu zählen im Wesentlichen:

- Die **IU BIM Proficiency Matrix** der Indiana University aus dem Jahr 2009 (*Indiana University*, 2015). Sie misst in 8 Bereichen jeweils 4 Reifegradstufen und ermittelt daraus einen theoretisch möglichen Maximalwert von 32 (4x8) Punkten (vgl. *Sacks et al.*, 2018)
- **BIM QuickScan** der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO) aus dem Jahr 2010. Hier werden in 4 übergeordneten Bereichen insgesamt 50 Kriterien betrachtet. Jedes Kriterium wird anhand mehrerer möglicher Auswahlfragen, die mit unterschiedlich hohen Punktzahlen hinterlegt sind, bewertet. Für jeden übergeordneten Bereich wird die Summe der Punkte gebildet und somit eine Aussage über die Leistung von BIM getroffen (vgl. *Sebastian* und *van Berlo*, 2010, S. 258 f.).

[4] *Borrmann et al.* 2017, S. 218.
[5] *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur* 2017, S. 12.

- **BIM Characterization Framework** aus dem Jahr 2011. Im Rahmen seiner Dissertation hat *Gao* (2011) einen Bewertungsrahmen zur Bestimmung der Reife von BIM entwickelt, aus dem später die VDC Scorecard entstanden ist.
- **Owner's BIMCAT** aus dem Jahr 2013/2014. *Giel* und *Issa* (2014) entwickelten das Modell kurze Zeit nach dem BIM Assessment Profile der Penn State University, da sie die dort verwendeten Unterelemente nicht transparent genug empfanden. Der Name des Modells verdeutlicht bereits die Zielgruppe, nämlich die Gebäudeeigentümer. *Giel* und *Issa* (2013b, S. 451) schreiben ihnen die maßgebliche Rolle zur Erreichung einer lebenszyklusumfassenden Verwendung von BIM zu. Sie haben mit Hilfe einer mehrstufigen Umfrage unter 21 präqualifizierten BIM-Experten insgesamt 66 Kompetenzen identifiziert und priorisiert, die Gebäudeeigentümer erfüllten sollten, damit BIM erfolgreich umgesetzt wird (vgl. *Giel* und *Issa*, 2014, S. 552). Das Vorhandensein jeder Kompetenz kann im Anschluss geprüft und so eine Aussage über die Eignung des jeweiligen Gebäudeeigentümers zur Anwendung von BIM getroffen werden. Der Vorteil der Blickrichtung aus Sicht der Gebäudeeigentümer ist, dass bei dieser Bewertung der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt wird und nicht nur eine Fokussierung auf die Planungs- oder Errichtungsphase erfolgt.
- **BIM Cloud Score** von *Du et al.* (2014). Dieser Ansatz verfolgt das Ziel, die BIM-Leistung eines einzelnen Unternehmens mit dem aktuellen Stand der gesamten Branche zu vergleichen und dadurch zu verbessern. Aus dem Vergleich lässt sich schließen, in welchen Bereichen der BIM-Nutzung ein Unternehmen noch Verbesserungspotenzial besitzt und demnach entsprechende Maßnahmen einleiten sollte. Das Modell arbeitet mit insgesamt 20 Kennzahlen, die in sechs Bereiche gegliedert sind (vgl. *Du et al.*, 2014, S. 5). Um den Vergleich der Unternehmen untereinander zu ermöglichen, müssen die Daten von vielen Anwendern gesammelt und ausgewertet werden, um einen Gesamtüberblick zu bekommen. Diese Datenerfassung erfolgt ebenso wie die Auswertung und Zusammenfassung der Ergebnisse cloudbasiert (vgl. *Du et al.*, 2014, S. 1).

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die Verwendung von Reifegradmodellen zur Beurteilung von Organisationen im Bauwesen auch in anderen Bereichen verwendet wird. Beispielsweise schlägt *Fiedler* (2018, S. 24-26) ein Modell vor, bei dem die Anwendung von Lean Methoden in fünf Reifegrade (Start, Entwicklung, Definition, Steuerung und Optimierung) unterschieden wird und in fünf unterschiedlichen Bereichen (Mitarbeiter, Qualität, Prozesse, Just in Time und Leadership) bewertet wird, wie Abbildung 42 zeigt.

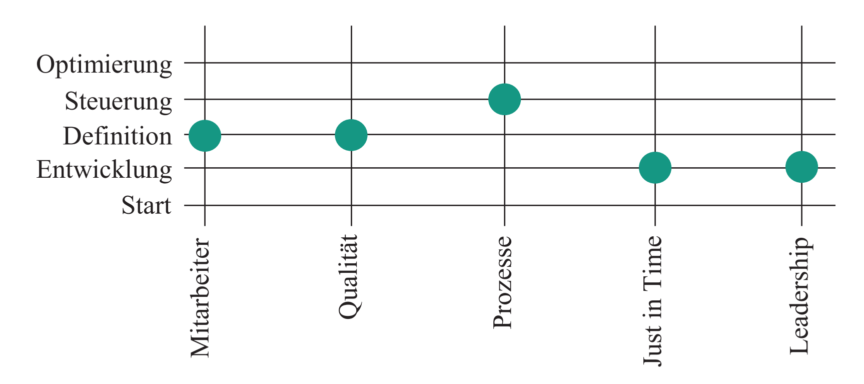


Abbildung 42: Reifegradmodell zur Bewertung des Einsatzes von Lean Methoden (*Fiedler*, 2018, S. 25)

4.6 Vergleichende Übersicht

Die große Anzahl an Modellen zur Bestimmung des Reifegrads macht es schwierig, ein am besten geeignetes Modell auszuwählen, da prinzipiell alle ihre Daseinsberechtigung haben. *Wu et al.* (2017) haben daher verschiedene Modelle anhand eines von ihnen aufgestellten Kriterienkatalogs miteinander verglichen. Die Kriterien haben sie in die folgenden fünf Gruppen zusammengefasst und die Modelle danach mit 0 bis 10 bewertet:

- Einfache Bedienung (0 = sehr schwierig, 10 = sehr einfach)
- Anwendungsbereich (0 = sehr gering, 10 = sehr breit)
- Flexibilität (0 = nicht flexibel, 10 = sehr flexibel)

- Validierung/Verbesserung (0 = keine, 10 = sehr umfassend)
- Benchmark-Möglichkeit (0 = keine, 10 sehr umfassend)

Zur Beschreibung der genauen Methodik wird auf *Wu et al.* (2017) verwiesen. Dabei ist kritisch anzumerken, dass manche Bewertungsergebnisse nicht immer nachvollziehbar sind und daher angenommen wird, dass einzelne Modelle auch abweichend hätten bewertet werden können. Dennoch ergibt sich eine Grobübersicht. Die durchschnittlich beste Bewertung (Summe der Werte der fünf Gruppen, dividiert durch 5) erreicht die VDC Scorecard mit dem Wert 6,0 [(3+7+4+8+8)/5], während die BIM Cloud Score mit einem Wert von 3,0 das Schlusslicht bildet. Tabelle 14 zeigt die Mittelwerte aller vorgestellten Reifegradmodelle in absteigender Reihenfolge.

Tabelle 14: Durchschnittliche Bewertung bestehender Reifegradmodelle basierend auf Daten von *Wu et al.* (2017, S. 52-55)

Reifegradmodell	**Mittelwert**
VDC Scorecard	6,0
BIM Maturity Matrix	5,8
BIM Quick Scan	5,6
BIM Characterization Framework	4,4
Interactive Capability Maturity Model	4,2
Owner's BIM CAT	4,2
BIM Assessment Profile	3,8
IU BIM Proficiency Matrix	3,4
BIM Cloud Score	3,0

Abbildung 43 zeigt die neun von *Wu et al.* (2017) untersuchten Reifegradmodelle mit ihren Bewertungsergebnissen in den fünf Gruppen. Während das Interactive Capability Maturity Model am einfachsten zu bedienen ist, weist die BIM Maturity Matrix die größte Flexibilität auf und die VDC Scorecard

bietet die besten Benchmarks sowie Validierungs- und Verbesserungsmöglichkeiten. Unter der theoretischen Annahme, dass das beste Modell den Wert 10,0 erreichen könnte, wird ersichtlich, dass selbst das aktuell beste Modell mit 6,0 nur 60 % der theoretisch möglichen Bewertung erreicht und somit noch Verbesserungsbedarf besteht.

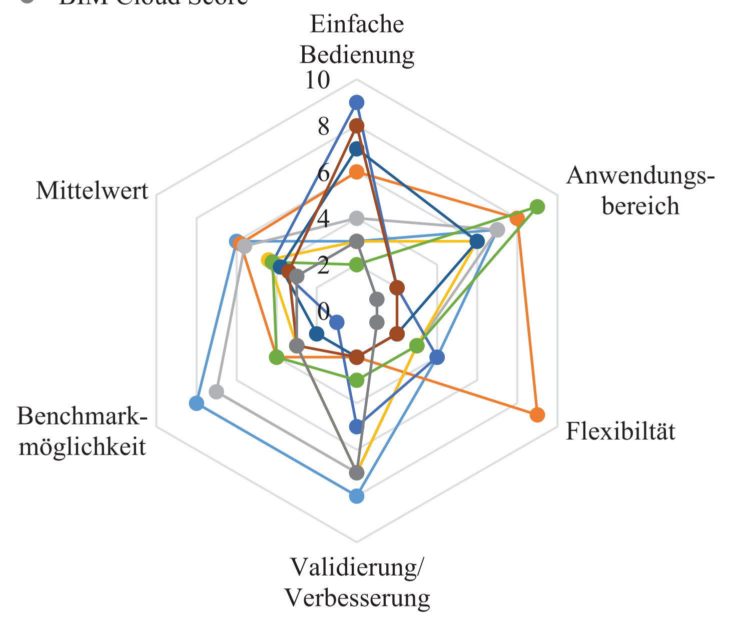


Abbildung 43: Vergleich bestehender Reifegradmodelle basierend auf Daten von *Wu et al.* (2017, S. 52-55)

Neben der bereits angesprochenen und in Teilen kritisch eingeschätzten Bewertung hat Wu das ursprüngliche Capability Maturity Model, das BIM Maturity Model und die InfraBIM-Reifegradmetrik nicht bewertet. Aus diesem Grund werden weitere Kriterien mit unterschiedlichen Ausprägungsmerkmalen vorgestellt, mit deren Hilfe ein nachvollziehbarer Vergleich der Modelle erfolgt. Die nachfolgende Zusammenfassung der vier Vergleichskriterien (Bedienbarkeit, Betrachtungsrahmen, Skalierbarkeit und Optimierungsvorschläge) wurde von *Deubel* und *Halter* (2019, S. 80-82) veröffentlicht.

Von *Wu et al.* (2017) wurde das Kriterium der Bedienbarkeit übernommen. Die Ausprägung wurde jedoch auf die drei Stufen „einfach", „mittel" und „komplex" reduziert. Dies ergibt eine hinreichende Genauigkeit, um eine vergleichende Aussage zu treffen. Sofern die Bedienbarkeit des Modells intuitiv ist, wurde es als „einfach" eingestuft. Wenn die Anwendung nicht ohne kurzes Einlesen möglich war, wurde „mittel" zugwiesen. „Komplex" bedeutet, dass eine umfangreichere Einarbeitung zur Anwendung notwendig ist.

Das Kriterium Betrachtungsrahmen unterscheidet, wie umfangreich die Reifegradmodelle einzelne Phasen eines Bauprojekts berücksichtigen. Beispielsweise legen manche Modelle den Fokus überwiegend auf die Planungsphase und sind somit „beschränkt", wohingegen andere Modelle mehrere Phasen und somit „mittleren" Betrachtungsrahmen aufweisen. Kann der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden, erfolgt die Einstufung als „umfassend".

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist die Skalierbarkeit der Anwendung. Darunter ist die Anpassung auf bspw. ein Projekt bzw. Unternehmen, auf einen Projektbeteiligten bzw. eine Abteilung oder eine individuelle Person zu verstehen. Die meisten Modelle bieten keine Anpassungsmöglichkeiten. Ihre Skalierbarkeit ist „gering". Die umfassendsten Möglichkeiten bietet die BIM Maturity Matrix und wird daher als „hoch" eingestuft. Bei weniger umfangreichen Skalierungsmöglichkeiten erfolgt die Einstufung in „mittel".

Zusätzlich liefern manche Modelle zum Abschluss der Bewertung Optimierungsvorschläge und geben damit eine Auskunft darüber, wie ein höherer Reifegrad erreicht werden könnte. Prinzipiell kann bei jedem Modell anhand der Bewertungsweise eigenständig ein Rückschluss gezogen werden, welche Maßnahmen eine bessere Bewertung ergeben würden. Diese Modelle geben

jedoch keine eigenen Vorschläge und werden daher als „gering" eingestuft. Auf der anderen Seite liefern einzelne Modelle zum Teil „umfassende" Optimierungsvorschläge. Zur Prüfung der Eignung der Modelle für diese Arbeit, werden die Kriterien von *Deubel* und *Halter* (2019) mit Zahlenwerten hinterlegt, um eine Auswertung durchführen zu können. Am besten geeignet wäre ein Modell, das einfach zu bedienen ist, einen umfassenden Betrachtungsrahmen aufweist, skalierbar ist und Optimierungsvorschläge liefert. Im Umkehrschluss wäre das ungeeignetste Modell komplex zu bedienen, hat einen beschränkten Betrachtungsrahmen mit geringer Skalierbarkeit und nur geringe Optimierungsvorschläge. Gemäß Tabelle 15 erreicht das theoretisch beste Modell einen Gesamtwert von 3 + 3 + 3 + 2 = 11, der geringste Wert wäre 1 + 1 + 1 + 1 = 4.

Tabelle 15: Kriterien zur Bewertung der Reifegradmodelle

Bedienbarkeit	**Betrachtungs-rahmen**	**Skalierbarkeit**	**Optimierungs-vorschläge**
Einfach (3)	Umfassend (3)	Hoch (3)	Umfassend (2)
Mittel (2)	Mittel (2)	Mittel (2)	Gering (1)
Komplex (1)	Beschränkt (1)	Gering (1)	-

Tabelle 16 zeigt die zwölf in dieser Arbeit vorgestellten Reifegradmodelle mit ihrem Erscheinungsjahr sowie die einzelnen Kriterien mit den bewerteten Ausprägungsmerkmalen in absteigender Reihenfolge gemäß der vorgestellten Bewertungssystematik. Insgesamt sieben Modelle erreichen mit einem Punktwert von 8 annähernd 72 % der maximal möglichen Bewertung. BIM Cloud Score ist mit 5 Punkten das ungeeignetste Modell. In Teilen entspricht das Bewertungsergebnis damit *Wu et al.* (2017). Dort ist BIM Cloud Score ebenfalls auf dem letzten Platz. Insbesondere das dort nicht bewertete Capability Maturity Model und die InfraBIM-Reifegradmetrik liefern jedoch eine sehr gute Ausgangsbasis für die weiteren Schritte in dieser Arbeit und damit zur Erfassung des Implementierungsaufwands, des Anwendungsaufwands und der Nutzen einzelner AWF.

Tabelle 16: Vergleich der BIM Reifegradmodelle

Reifegradmodell	Erscheinungsjahr	Anzahl Reifegrade	Bewertungskriterien	Bedienbarkeit	Betrachtungsrahmen	Skalierbarkeit	Optimierungsvor-	**Bewertungssumme**
Capability Maturity Model	1993	5	-	3	3	1	1	**8**
BIM Maturity Matrix	2010	5	34	1	3	3	1	**8**
BIM QuickScan	2010	6	50	3	3	1	1	**8**
VDC Scorecard	2013	5	56	1	3	2	2	**8**
BIM Assessment Profile	2013	6	20	2	3	2	1	**8**
Owner's BIMCAT	2014	6	66	3	3	1	1	**8**
InfraBIM-Reifegradmetrik	2017	6	62	3	3	1	1	**8**
Interactive Capability Maturity Model	2007	10	11	3	2	1	1	**7**
BIM Maturity Model	2008	4	-	3	1	1	1	**6**
IU BIM Proficiency Matrix	2009	4	8	3	1	1	1	**6**
BIM Characterization Framework	2011	3	74	1	2	1	2	**6**
BIM Cloud Score	2014	6	20	1	1	1	2	**5**

4.7 Zwischenfazit

Kapitel 4.6 verdeutlicht, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Reifegradmodelle zur Bewertung von BIM bzw. in Teilen sogar einzelner AWF gibt. Der jeweilige Betrachtungsumfang und der damit einhergehende Bewertungsaufwand schwanken dabei stark. Gleichzeitig wird festgestellt, dass kein Modell den Fokus auf die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit oder Bewertung der Nutzen und Aufwände von BIM oder einzelner AWF im Speziellen legt.

Dennoch hat der Reifegrad von BIM, im Hinblick auf einzelne Personen sowie das jeweilige Unternehmen und Projekt, einen unmittelbaren Einfluss auf die Zahl der potentiell umsetzbaren Anwendungsfälle und steht damit auch in direktem Zusammenhang mit dem aus der Anwendung der Anwendungsfälle realisierbaren Nutzen (vgl. *Sackey et al.*, 2013, S. 204). Ein Ansatz zur Nutzenbewertung wäre daher, die Anzahl der verwendeten Anwendungsfälle in einem Projekt oder Unternehmen zu betrachten. Eine mögliche Aussage könnte sein: Je mehr Anwendungsfälle verwendet werden, desto höher der Reifegrad von BIM und desto höher der Nutzen. Dieser Ansatz wird jedoch nicht fortgeführt, da die reine Betrachtung der Anzahl der verwendeten AWF nicht zielführend erscheint und das Ergebnis keine sinnvolle Erkenntnis liefert.

Auch die für die Erzielung der Nutzen notwendigen Aufwände hängen unmittelbar mit dem Reifegrad zusammen. Zum einen bedeutet ein höherer Reifegrad zwangsläufig einen höheren Implementierungsaufwand, da bspw. mehr Anwendungsfälle im Unternehmen implementiert werden müssen, wodurch sich auch ein höherer Anwendungsaufwand ergibt, da mehr Anwendungsfälle verwendet werden.[6] Auf der anderen Seite ist in Anlehnung an

[6] Vgl. hierzu z. B. den Bewertungskatalog der InfraBIM-Reifegradmetrik. Im übergeordneten Bereich LPh 2-3 wird abgefragt, ob eine modellbasierte Mengen- und Kostenermittlung im Projekt stattgefunden hat. Wurde diese nicht durchgeführt, wird der Reifegrad 0 vergeben, erfolgt hingegen eine Verknüpfung von Bauteilgruppen mit groben Kostenelementen wird Reifegrad 3 vergeben und Reifegrad 5 bei einer detaillierten Verknüpfung einzelner Bauteile mit den zugehörigen Einheitspreisen. *Vgl. Borrmann et al. (2016, S. 32)*

Kapitel 4.2 vorstellbar, dass bestimmte Anwendungsaufwände bei der Anwendung einzelner AWF mit zunehmendem Reifegrad abnehmen. Beispielsweise wird erwartet, dass Anwender von AWF bei einem höheren Reifegrad im Projekt oder Unternehmen mehr Erfahrung haben und damit z. B. weniger Zeit zur Erstellung eines Modells benötigen. Diese Zusammenhänge werden in bestehenden Reifegradmodellen nicht betrachtet, wodurch die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Modelle im Rahmen der Arbeit nicht weiter aufgegriffen werden. Im Fokus steht vielmehr die Erfassung der grundsätzlich möglichen Aufwände und Nutzen der AWF in allgemeiner Form. Daher werden im folgenden Kapitel 5 zunächst AWF detaillierter betrachtet und anschließend diesen Anwendungsfällen einzelne Aufwände und Nutzen zugeordnet. Dafür liefern die jeweiligen Kriterien und Fragen der vorgestellten Reifegradmodelle wertvolle Informationen, die Bewertung der tatsächlichen Höhe einzelner Aufwände und Nutzen der AWF in Abhängigkeit des Reifegrads ist jedoch in künftigen Arbeiten genauer zu untersuchen.

5 BIM-Anwendungsfälle

5.1 Erfordernis von Anwendungsfällen

Die Begriffsdefinitionen zu BIM in Kapitel 2.2 zeigen, dass BIM zwar definiert werden kann, dennoch lassen die Definitionen einen entsprechenden Spielraum hinsichtlich der Implementierung zu. Dies führt sowohl in der Theorie als auch in der Praxis dazu, dass nicht jeder Beteiligte unter BIM das Gleiche versteht. Beispielsweise stellt eine Studie von *Busker et al.* (2017, S. 44) unter Bauunternehmen fest, dass eines der größten Hemmnisse, das die Anwendung von BIM am deutschen Bau einschränkt, die Unklarheit darüber ist, was unter BIM genau zu verstehen ist.

Um dieses Problem zu lösen, ist es notwendig, konkrete BIM-Anwendungsfälle zu erarbeiten. Eine Online-Umfrage von *Deubel et al.* (2018, S. 298) unter 781 Personen mit Interesse an BIM im September 2017 bestätigt das und liefert zugleich detailliertere Erkenntnisse über die Frage, wie AWF von den Umfrageteilnehmern genutzt werden. Die Ergebnisse sind auszugsweise in Abbildung 44 dargestellt. Da nicht alle Umfrageteilnehmer jede Frage beantwortet haben, erfolgt eine jeweils relative Darstellung der Ergebnisse. Beispielsweise haben bei der Frage, ob AWF „überhaupt nicht" verwendet werden, insgesamt 117 Personen eine Aussage in Form von einer der vier Antwortmöglichkeiten „trifft nicht zu", „triff eher nicht zu", „trifft eher zu" oder „trifft zu" getroffen, wohingegen „zu Kommunikationszwecken" 153 Personen eine Aussage angewählt haben. Aus diesen Gründen wäre der Vergleich der absoluten Anzahl an Antworten nicht so aussagekräftig wie die gewählte relative Darstellung. Abweichungen von der Gesamtsumme (100 %) beruhen auf Rundungsungenauigkeiten. Dennoch ist die jeweilige Stichprobenmenge n in Klammern hinter jeder Frage angegeben, sodass eine Rückrechnung auf die absoluten Antworten möglich ist.

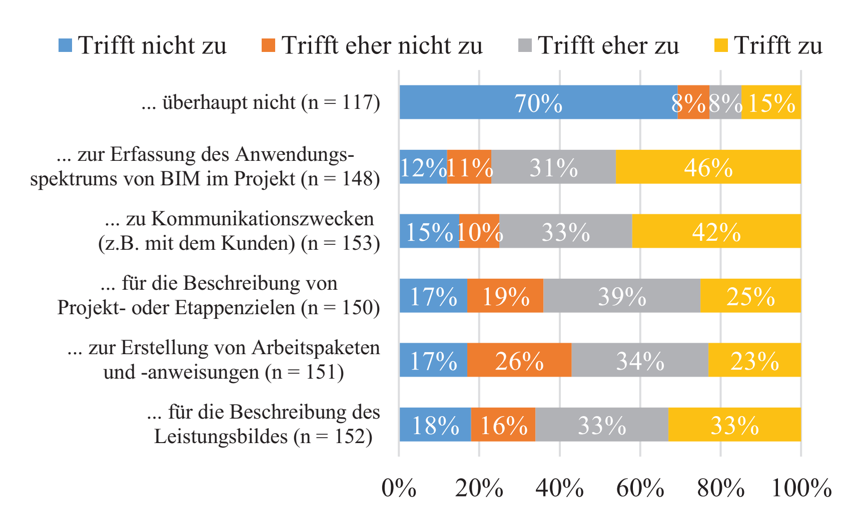


Abbildung 44: Umfrageergebnisse (relativ verteilt): Wir nutzen AWF…

Es wird deutlich, dass die häufigste Verwendung von AWF die Erfassung des Anwendungsspektrums von BIM in einem Projekt ist. 46 % stimmen dieser Aussage voll und 31 % eher zu. Fast genauso oft werden AWF zu Kommunikationszwecken verwendet, wohingegen immerhin ein Viertel (26 %) angeben, dass sie AWF zur Erstellung von Arbeitspaketen und Arbeitsanweisungen eher nicht verwenden.

Die Relevanz von AWF wird bei der Frage „überhaupt nicht" am deutlichsten. 70 % der Teilnehmer geben an, dass diese Aussage nicht zu trifft. Die meisten Umfrageteilnehmer verwenden folglich AWF, um BIM präziser beschreiben zu können.

Mit der Hilfe von AWF wird es zwar möglich, BIM in einzelne konkrete Arbeitspakete herunter zu brechen, dennoch besteht ein Problem fort: AWF werden aktuell in überwiegender Form unternehmens- oder projektindividuell festgelegt und beschrieben, da zumindest im deutschsprachigen Raum keine einheitliche und standardisierte Übersicht sämtlicher AWF vorliegt (vgl. *Deubel et al.*, 2018, S. 296). Aus diesem Grund ist es notwendig, AWF umfassend zu erfassen und systematisch zu vereinheitlichen. Diese Ansicht

teilen die Umfrageteilnehmer, wie Abbildung 45 verdeutlicht. 64 % (25 % „trifft zu“ und 39 % „trifft eher zu“) von ihnen sind der Meinung, dass eine standardisierte Verwendung von AWF in zukünftigen BIM-Projekten sehr wichtig sein wird.

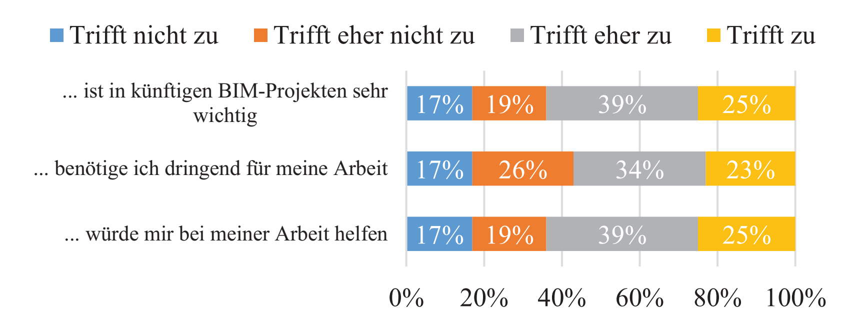


Abbildung 45: Umfrageergebnisse (relativ verteilt): Eine standardisierte Übersicht von AWF…

Darüber hinaus benötigen 57 % (23 % „trifft zu“ und 34 % „trifft eher zu“) eine standardisierte Übersicht dringend für ihre Arbeit und 66 % (je 33 % „trifft zu“ und „trifft eher zu“) geben an, dass ihnen diese Übersicht bei ihrer Arbeit helfen würde.

Abschließend konnten die Umfrageteilnehmer in einem Freitextfeld konkrete Aussagen dazu treffen, welches Potenzial sie in einer standardisierten und detaillierten Übersicht von AWF sehen. Insgesamt 44 Teilnehmer haben darauf geantwortet. Die vollständige Übersicht liefert eine Vielzahl neuer Erkenntnisse und findet sich in Anhang C. In überwiegender Form wird der Vorteil der Leistungspräzision und damit einhergehend der geringer werdende Interpretationsspielraum hervorgehoben. Einige Teilnehmer betrachten eine Standardisierung auch kritisch und sind der Meinung, dass Projekte zu differenziert seien, um AWF standardisieren zu können. Antwort-ID 38377389 betont den in dieser Arbeit verfolgten Ansatz, dass mit Hilfe von AWF die „äußerst schwammigen BIM-Level 0-3 Einordnungen“ abgelöst werden können (vgl. hierzu Kapitel 4.3).

Das größte Potenzial von AWF für diese Arbeit beruht jedoch auf einem anderen Ansatz und geht darauf zurück, dass AWF einzeln hinsichtlich ihrer Aufwände und Nutzen und damit ihrer Wirtschaftlichkeit untersucht werden können, wodurch in Summe präzisere Aussagen zu Aufwänden, Nutzen und der Wirtschaftlichkeit von BIM im Gesamten getroffen werden können. Daher werden in den nächsten Kapiteln bestehende Übersichten zu AWF, die für diese Arbeit relevant sind, vorgestellt und mit Hilfe weiterer Ergebnisse aus der vorgestellten Umfrage vereinheitlicht und ergänzt. Relevant bedeutet in diesem Zusammenhang, dass es sich nicht um eine einfache Sammlung von AWF handelt. Einfache Sammlungen oder die Erwähnung einzelner AWF lassen sich in vielen Unternehmen und Publikationen finden. Beispielsweise ordnen *Hausknecht* und *Liebich* (2016, S. 166-169) 32 AWF nach ihren Projektbeteiligten (Architektur, TGA und Tragwerksplanung), setzen sich *Berner et al.* (2016) mit den AWF „Visualisierung“ und „Bauablaufmodellierung“ auseinander oder listet *Hochtief Vicon* (2018) die aus ihrer Sicht zehn bedeutendsten AWF auf. Mit Hilfe solcher Publikationen lassen sich AWF umfassend zusammentragen. Wichtiger ist jedoch eine systematische Kategorisierung und Ergänzung mit weiteren Informationen, wie beispielsweise welche Ressourcen oder Kompetenzen zur Ausführung des jeweiligen AWF notwendig sind, welche Projektrollen den AWF üblicherweise umsetzen oder in welche Phasen eines Bauprojekts der AWF zum Einsatz kommt.

5.2 Identifikation von Anwendungsfällen

5.2.1 BIM Uses des CIC

Die Identifikation von Anwendungsfällen wurde in einem ersten Schritt maßgeblich von der Computer Integrated Construction (CIC) Research Group der Pennsylvania State University vorangetrieben. Dort wurden im Rahmen mehrerer Forschungsarbeiten insgesamt 25 sog. BIM Uses mit Hilfe von Experteninterviews, Literaturrecherchen und Fallstudien erarbeitet (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 10).

Diese werden den vier Phasen „Plan“, „Design“, „Construct“ und „Operate“ zugeordnet. Im Hinblick auf die in Deutschland übliche Einteilung in HOAI-Phasen ist die Abgrenzung zwischen „Plan“ und „Design“ schwierig, wobei „Plan“ in etwa der in Kapitel 2.4 vorgestellten Projektvorbereitung und „Design“ in etwa der Projektplanung entspricht. „Construct“ deckt sich mit HOAI Leistungsphase 8 bzw. der Projektrealisierung und „Operate“ bezeichnet den Gebäudebetrieb (FM) in der Phase Projektbetrieb. Abbildung 46 zeigt die zusammenfassende Übersicht in Form einer deutschen Übersetzung, aus der auch die zeitliche Einordnung der AWF ersichtlich wird. Allerdings gehen die Arbeiten des CIC über die bloße zeitliche Einordnung hinaus. Sie haben zusätzlich für jeden AWF den potentiellen Nutzen, die benötigten Ressourcen und die erforderlichen Teamkompetenzen erarbeitet sowie den AWF selbst beschrieben und grafisch in Form einer Prozesslandkarte dargestellt. Die vollständige Auflistung findet sich in *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 48-100).

Auf die erforderlichen Teamkompetenzen und benötigten Ressourcen sowie den daraus resultierenden potentiellen Nutzen der AWF wird in Kapitel 6.2 genauer eingegangen.

Plan	Design	Construct	Operate
Bestandserfassung			
Kostenschätzung			
Phasenplanung (4D)			
Computerbasierte Modellprüfung			
Grundstücksanalyse			
	Entwurfsprüfung		
	Entwurfsmodellierung		
	Energieanalyse		
	Tragwerksanalyse		
	Beleuchtungsanalyse		
	Mechanische Analyse		
	Sonstige Analysen		
	Nachhaltigkeits-bewertung		
	Normenprüfung		
	3D Kollisionsanalyse		
		Baustellen-einrichtungsplanung	
		Modellierung komplexer Bausysteme	
		Digitale Fertigung	
		3D Überwachung	
		Baudokumentation	
			PlanungInstandhaltung
			Gebäudeanalyse
			Asset Management
			Flächenmanagement
			Notfallplanung

Abbildung 46: AWF der Penn State (Computer Integrated Construction Research Programm, 2011, S. 9), eigene deutsche Übersetzung

Allerdings haben *Kreider* und *Messner* (2013, S. 3) festgestellt, dass die starre Auflistung und zeitliche Einordnung nur bedingt praxistauglich ist. Vielmehr hat sich ergeben, dass eine flexiblere Einordnung hilfreich wäre, die Projektspezifika und die Entwicklung neuer AWF berücksichtigen kann. Aus diesem Grund haben sie ein mehrstufiges System erarbeitet, wodurch AWF hinsichtlich ihres Verwendungszwecks und ihrer Merkmale klassifiziert werden können. Abbildung 47 zeigt das System. Es differenziert zunächst in fünf primäre Verwendungszwecke (Erfassen, Generieren, Analysieren, Mitteilen und Realisieren), die in 18 untergeordnete sekundäre Verwendungszwecke aufgeteilt werden können. Gleichzeitig haben sie vier Ausprägungsmerkmale erarbeitet, mit denen AWF präziser definiert werden sollen.

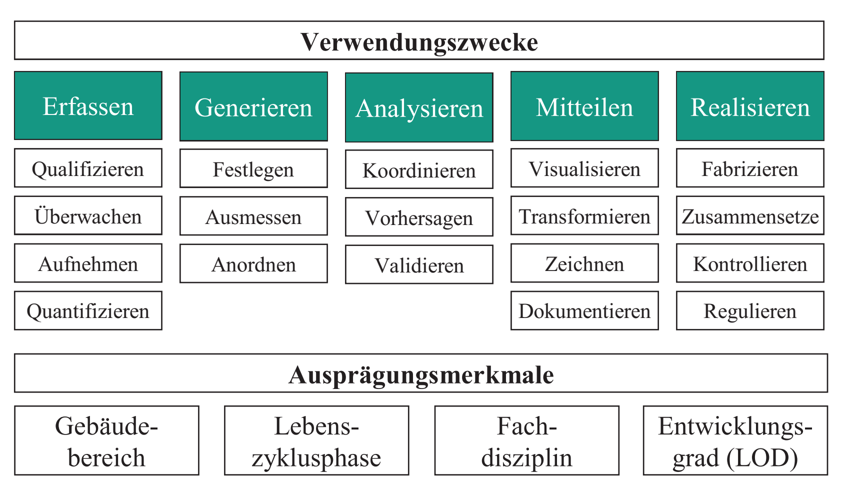


Abbildung 47: Kategorisierung von AWF nach Verwendungszweck und Ausprägungsmerkmal (*Kreider* und *Messner*, 2013, S. 6), eigene deutsche Übersetzung

Beispielsweise kann der Verwendungszweck eines AWF das Mitteilen von Informationen in Form der Visualisierung einer Planung sein. Der AWF kann im Anschluss hinsichtlich der vier Ausprägungsmerkmale präzisiert werden, in dem festgelegt wird, welcher Gebäudebereich (z. B. Rohbau), in welcher

Lebenszyklusphase (z. B. Baubeginn, Baufertigstellung oder Ende der Betriebsphase), von welcher Fachdisziplin (z. B. Architektur oder Tragwerksplanung) mit welchem Entwicklungsgrad (z. B. LOD 200 oder 400) visualisiert wird. Detailbeschreibungen zu den einzelnen Verwendungszwecken und Ausprägungsmerkmalen finden sich in *Kreider* und *Messner* (2013, S. 8-18).

5.2.2 Model Uses von Succar

Eine deutlich umfassendere Sammlung an AWF liefert ab dem Jahr 2015 Bilal Succar (vgl. *Succar* (2015), *Succar et al.* (2016) und *Succar* (2019)) im Rahmen seiner „BIM Excellence“ [1] und der daraus abgeleiteten „BIMe“ [2] Initiativen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Zusammenfassung seiner Forschungsarbeiten (vgl. *Succar*, 2013b) zu BIM im Allgemeinen sowie AWF und dem Reifegrad im Speziellen, die Succar seit 2007 betreibt und auf seinen Webseiten veröffentlicht (vgl. hierzu auch Kapitel 1.2 und 4.4.2). Teilweise finden sich auch Auszüge der Webseiten in wissenschaftlichen Publikationen und seiner Dissertation (*Succar*, 2013b).[3]

Auch Succar hat zur Identifikation der Model Uses die zum damaligen Zeitpunkt bestehenden Quellen im Hinblick auf die Nennung von AWF untersucht. Die BIM Uses des CIC sind darin enthalten. Zur Beschreibung der genauen Vorgehensweise wird auf *Succar* (2015) verwiesen.

Deutlich interessanter ist sein Klassifizierungsansatz, der im Folgenden erläutert und diskutiert wird, denn er beschäftigt sich mit der Frage, in welchem Detaillierungsgrad AWF sinnvollerweise beschrieben werden sollten, um sie voneinander abgrenzen zu können. Es geht dabei um die ideale Anzahl an AWF unter Berücksichtigung der Akkuratesse und Nutzungsflexibilität.

[1] Online zugänglich unter: http://bimexcellence.com/

[2] Online zugänglich unter: https://bimexcellence.org/

[3] Unabhängig davon wird den Veröffentlichungen auf seinen Webseiten ein gewisser Stellenwert zugesprochen, da es sich in Teilen um peer-reviewed-Veröffentlichungen handelt. Zwar ist das Verfahren nicht so belastbar wie ein unabhängiges peer-review-Verfahren, da Succar die Gutachter frei wählen kann, dennoch bekommen die Beiträge dadurch eine höhere Güte als ein einfacher Beitrag bspw. in einem Blog auf einer Webseite.

Wäre die Anzahl der definierten AWF gering, so müssten sie offen (unpräzise) definiert sein, wodurch die Akkuratesse gering wäre. Eine zu hohe Anzahl würde dagegen dazu führen, dass die Summe der AWF nicht mehr überschaubar wäre und könnte zudem zu Überschneidungen führen. Im Hinblick auf die Nutzungsflexibilität empfiehlt *Succar* (2015), dass AWF wie folgt beschrieben werden sollten:

- Unabhängig von Lebenszyklusphasen, damit sie in allen Phasen angewendet werden können (These 1).
- Unabhängig von der Art und Weise ihrer Anwendung, damit sie konsistent bspw. in der Projektbeschaffung aber auch in der Projektumsetzung angewandt werden können (These 2).
- Ohne vorgegebene Prioritäten, damit diese von den Beteiligten bei jedem Projekt selbst festgelegt werden können (These 3).
- Ohne vorgegebene beteiligte Projektrollen, damit diese bei jedem Projekt selbst in Abhängigkeit der einzelnen Fähigkeiten der Projektteilnehmer festgelegt werden können (These 4).

Während seine Überlegungen zur Akkuratesse sicherlich zutreffend sind, müssen seine Ausführungen zur Nutzungsflexibilität kritisch hinterfragt werden. Zwar sind auch diese in Teilen (insbesondere unter der Annahme einer größtmöglichen Nutzungsflexibilität) wünschenswert, in der angedachten Form aber nicht praxistauglich umsetzbar:

- Zu These 1: AWF sollten bewusst phasenabhängig beschrieben werden, sofern dies möglich ist und sie präzise einer Phase zugeordnet werden können. Nur wenn die eindeutige Phasenzuordnung nicht möglich ist, sollten sie als phasenunabhängige oder für alle Phasen gültige AWF klassifiziert werden. Zwar führen auch *Kreider* und *Messner* (2015, S. 432) die Nachteile der Zuordnung zu Phasen auf und reflektieren damit ihre eigene Arbeit kritisch; aber wenn AWF nur in einer Phase angewandt werden können, muss diese Zwangsbedingung berücksichtigt werden. Nur dadurch kann sichergestellt werden, dass bei der Auswahl potentieller AWF für ein Projekt nicht fälschlicherweise AWF gewählt werden, die ggfs. aufgrund der Projektphase nicht (oder

nur mit deutlich erhöhtem Aufwand) umgesetzt werden können. Beispielsweise macht eine modellbasierte Ermittlung der Ausführungsmengen nur Sinn, wenn zuvor bereits ein Modell erstellt wurde, das den Genauigkeitsanforderungen an eine Ausführungsplanung genügt. Andernfalls müsste dieses Modell zusätzlich erstellt werden und der Aufwand für die modellbasierte Ermittlung der Ausführungsmengen wäre deutlich größer als bei dem Vorhandensein eines geeigneten Modells. Projektentscheider müssen folglich wissen, welche AWF aufeinander aufbauen, damit sie keine AWF beauftragen, die ggfs. nicht bedachte/beauftragte Vorleistungen benötigen.

- Zu These 2: Die Erfüllung dieser Unabhängigkeit erscheint nicht notwendig. AWF müssen in den Bereichen angewandt werden können, die sie benötigen bzw. in denen sie benötigt werden. Eine darüber hinaus gehende Nutzungsflexibilität ist nicht notwendig und kann im Sinne der Lean-Thematik als Verschwendung („over engineering") bezeichnet werden (vgl. *Fiedler*, 2018, S. 52).
- Zu These 3: Die Priorisierung einzelner AWF sollte von den Beteiligten individuell festgelegt werden können. Diesem Punkt wird somit zugestimmt. Allerdings kann es, insbesondere für unerfahrene BIM-Anwender, hilfreich sein, eine Priorisierungsempfehlung zu erhalten. Dadurch bekommen sie eine Hilfestellung, auf welche AWF sie ggfs. ihren Fokus legen sollten. Dieser Ansatz wird in Kapitel 6.2 konkretisiert.
- Zu These 4: Entspricht im Wesentlichen den Ausführungen zu These 1 und 3. Sofern bestimmte AWF nur von einer Projektrolle ausgeführt werden können, muss diese Abhängigkeit angegeben werden. Zudem kann eine weitere Differenzierung in Autor/Ersteller des AWF und Nutzer/Verwender des AWF hilfreich sein. Wenn sie von mehreren Projektrollen ausgeführt werden können, muss auch diese Abhängigkeit angegeben werden, allerdings besteht dann eine entsprechende Wahlmöglichkeit, wer den AWF ausführt. Nur wenn AWF von jeder Projektrolle ausgeführt werden können, sollten AWF als rollenunabhängig bezeichnet werden. Ein davon abweichendes Vorgehen würde dazu führen, dass in einem Projekt ggfs. AWF beauftragt werden sollen, obwohl die Projektrolle möglicherweise nicht vertreten ist.

Beispielsweise kann eine modellbasierte Brandsimulation nur von einem geeigneten Experten durchgeführt werden, der über die entsprechenden Kompetenzen verfügen muss. Sofern die Kompetenzen in einer anderen Projektrolle vorlägen, könnte der AWF zwar entsprechend ausgeführt werden, davon kann in der Regel jedoch nicht ausgegangen werden. Daher müssen AWF unter Berücksichtigung der üblicherweise in den jeweiligen Projektrollen vorhanden Kompetenzen (Standard-Kompetenzen) klassifiziert werden. Allerdings ist es sinnvoll, die tatsächlich vorhandenen Kompetenzen der Projektbeteiligten projektindividuell abzufragen und im Anschluss zu evaluieren, ob ggfs. weitere AWF umgesetzt werden könnten.

Dennoch liefert *Succar* (2015) weitere hilfreiche Ansätze und differenziert den Informationsgehalt in einem Projekt bzw. AWF im Hinblick auf die Berechenbarkeit („computability“) in fünf Gruppen:

- Gruppe 0 (Allgemeine Hintergrundinformationen): Dabei handelt es sich um Informationen, die keinen direkten Einfluss besitzen. Beispielsweise nennt er die historische Geschichte eines Baugrundstücks auf dem sich ein Gebäude befindet.[4]
- Gruppe 1 (Unstrukturierte Projektinformationen): Dabei handelt es sich um nicht-digital weiterverwertbare Daten, wie beispielsweise händische Skizzen oder Notizen in Papierform.
- Gruppe 2 (Strukturierte Projektinformationen): Dabei handelt es sich um digital weiterverwertbare zweidimensionale Informationen, wie beispielsweise pdf- oder Textdateien.

[4] Das von Succar gewählte Beispiel ist nicht ideal, in bestimmten Fällen kann die Grundstückshistorie durchaus von Bedeutung sein (z.B. im Hinblick auf mögliche Schadstoffbelastungen oder archäologische Funde). Dennoch gibt es Hintergrundinformationen, die keinen Einfluss besitzen, wobei dies stets projektindividuell zu prüfen ist. Beispielsweise ist es bei einem Umbauprojekt vermutlich nicht relevant, ob das Gebäude vorher grün oder gelb angestrichen war. Relevant ist die Farbe, die es künftig erhalten soll.

- Gruppe 3 (Modellierte Informationen): Dabei handelt es sich um Informationen, die in einem dreidimensionalen Modell enthalten sind, wie beispielsweise Daten zur Planung oder Simulation.
- Gruppe 4 (Integrierte Daten): Dabei handelt es sich um miteinander verbundene Informationen aus den Gruppen 2 und 3.

Abbildung 48 stellt die Gruppen 1 bis 4 grafisch dar. Gruppe 0 ist nicht dargestellt. Während es sich bei Gruppe 1 um unpräzise einzelne Flächen handelt, weisen Informationen der Gruppe 2 präzise geometrische aber nicht miteinander verbundene Flächen auf. Erst in Gruppe 3 werden diese zu Modellkörpern zusammengesetzt. Abschließend bildet Gruppe 4 eine stabile Form von miteinander verbundenen integrierten Informationen.



Abbildung 48: Kategorisierung von Projektinformationen (*Succar*, 2015)

Mit Hilfe dieser Vorüberlegungen hat *Succar* (2015) insgesamt drei Kategorien (allgemein, branchenspezifische und kundenspezifisch) von „Model Uses“ erarbeitet, die er in neun Unterkategorien (sog. Serien) differenziert. Abbildung 49 zeigt die Einordnung und die Anzahl der AWF. Dieser Ansatz weist eine gewisse Ähnlichkeit zu *Kreider* und *Messner* (2013) auf (vgl. Kapitel 5.2.1), wobei sie nur die Kategorisierung liefern und keine AWF einteilen.

Kategorie	Serie
Allgemeine AWF	**Serie 1000** (52 AWF) Allgemeines Modellieren
Branchenspezifische AWF	**Serie 2000** (9 AWF) Erfassen und Darstellen
	Serie 3000 (12 AWF) Planen und Entwerfen
	Serie 4000 (27 AWF) Simulieren und Quantifizieren
	Serie 5000 (9 AWF) Konstruieren und Herstellen
	Serie 6000 (7 AWF) Betreiben und Instandhalten
	Serie 7000 (5 AWF) Überwachen und Steuern
	Serie 8000 (7 AWF) Verknüpfen und Erweitern
Kundenspezifische AWF	**Serie 9000** (∞ AWF) Kundenspezifisch

Abbildung 49: Kategorisierung von AWF in Serien basierend auf *Succar* (2015)

Bei der ersten Kategorie (Allgemeine AWF) handelt es sich um Anwendungsfälle, die branchenübergreifend Anwendung finden können. *Succar et al.* (2016, S. 50) nennen beispielhaft das Modellieren audio-visueller Sys-

teme. Dies kann im Rahmen von Bauprojekten aber auch z. B. bei der Filmproduktion Verwendung finden. In Kategorie zwei (Branchenspezifische AWF) finden sich aktuell mit einer Anzahl von 76 die meisten AWF, wobei es sich bei Serie 8000 nicht um AWF im Sinne der Definition aus Kapitel 2.2 handelt. Die dritte Kategorie umfasst kundenspezifische AWF, deren Anzahl unbekannt bzw. als unendlich bezeichnet werden kann, da sie unter Berücksichtigung der individuellen Anforderungen des Kunden oder Projekts entstehen. In der Regel handelt es sich um Präzisierungen von AWF aus Kategorie 1 oder 2. *Succar et al.* (2016, S. 52) beschreiben exemplarisch den AWF „Modellieren von Sicherheitssystemen für eine Justizvollzugsanstalt". Dort könnten ggfs. spezielle Anforderungen im Hinblick auf die Sicherheit zum Tragen kommen, wodurch es sich um einen kundenspezifischen AWF handelt.

An dieser Stelle stellt sich die Frage, welchen Zweck die „Model Uses" von Succar für die Praxis haben können. Hierzu liefert er zwei Antworten. Zum einen können sie bei der Implementierung von BIM in einem Projekt hilfreich sein. Dies führt *Succar* (2015) weiter aus, ist jedoch im Kontext dieser Arbeit von geringerer Bedeutung. Wichtiger ist sein Ansatz, dass die „Model Uses" zur Bestimmung von Leistungskennzahlen („Performance metric") herangezogen werden können.

Succar (2015) differenziert dazu gemäß Tabelle 17 in vier verschiedene Organisationsgrößen (Spalte 1, vgl. hierzu auch Kapitel 2.6.1) und gibt Empfehlungen, was bewertet werden (Spalte 2), mit welchen Messsystemen eine Bestimmung erfolgen (Spalte 3, vgl. hierzu auch Kapitel 4.4.2) und wie Ergebnisse bewertet werden könnten (Spalte 4).

Tabelle 17: Möglichkeiten zur Bewertung von AWF, angepasste Darstellung auf Basis von *Succar* (2015)

Organisationsgröße	**Bewertungskriterien**	**Messsystem**	**Bewertungseinheit**
Individuen, Gruppen, Arbeits- und Projektteams	Kenntnisse, Qualifikationen, Erfahrungen	Individual Competency Index	Kompetenz (keine, grundlegend, mittel, fortgeschritten, Experte)
Organisationen	Fähigkeit zum Liefern und Qualität der Lieferung	BIM Maturity Index	Fähigkeit (ja oder nein) Reife (gering, mittel-gering, mittel, mittel-hoch, hoch)
Projekte	Anzahl der mit AWF erzielten Ergebnisse	Model Richness Variable	Reichhaltigkeit (0 bis 1)
Industrien und Märkte	Vorhandensein definierter AWF in einer Industrie/Markt	Macro Maturity Model	Verfügbarkeit (ja oder nein) Reife (gering, mittel-gering, mittel, mittel-hoch, hoch)

Zwar werden vier Organisationsgrößen unterschieden, allerdings ist die Abgrenzung sehr unklar bzw. teilweise nicht möglich. Beispielsweise gibt es gemäß den Definitionen von *Succar* (2015) keine echten Unterschiede zwischen Projektteams, Organisationen und Projekten. Aus diesem Grund wird

die Differenzierung hinsichtlich der Organisationsgröße nicht fortgeführt und erscheint an dieser Stelle auch nicht notwendig. Die einzelnen Bewertungskriterien in Spalte B können unabhängig von der Organisationsgröße angewandt werden. Die Messsysteme in der dritten Spalte sind von Succar entwickelt und werden nachfolgend kurz erläutert.

Beim Individual Competency Index wird das Vorhandensein von bestimmten Kenntnissen („Knowledge“) und Qualifikationen („Skills“) abgefragt und in Form von fünf unterschiedlichen Leveln angegeben. Dabei handelt es sich um folgende Stufen (vgl. *Succar*, 2014a):

- Level 0 (keine): Verständnis und Anwendungserfahrung liegen nicht vor.
- Level 1 (grundlegend): Ein grundlegendes Verständnis und erste Anwendungserfahrungen liegen vor.
- Level 2 (mittel): Ein solides konzeptionelles Verständnis und einige Anwendungserfahrungen liegen vor.
- Level 3 (fortgeschritten): Ein signifikantes konzeptionelles Verständnis und eine Anwendungserfahrung auf konstant hohem Niveau liegen vor.
- Level 4 (Experte): Umfassendes Wissen, verfeinerte Fähigkeiten und langjährige Erfahrung bei der Anwendung auf höchstem Niveau liegen vor.

Mit Hilfe des Individual Comptency Index kann folglich die Eignung einer bestimmten Person oder Gruppe zur Anwendung eines einzelnen AWF erfasst werden. Der BIM Maturity Index bewertet den Reifegrad eines AWF bzw. seiner Anwendung ebenfalls in Form von fünf Leveln. Dabei handelt es sich um folgende Stufen (vgl. *Succar*, 2013a):[5]

- Level a (initiiert): Geringe Reife (0 % bis < 20 %)
- Level b (definiert): Mittel-geringe Reife (20 % bis < 40 %)

[5] Es ist anzumerken, dass die Wertebereiche von Succar nicht präzise definiert sind. Er definiert beispielsweise Level a von 0 % bis 20 % und Level b beginnt erst bei 21 %. Der Bereich zwischen 20 % und 21 % entspricht damit weder Level a noch Level b. Aus diesem Grund werden die von Succar definierten Wertebereiche minimal angepasst, so dass keine Lücken entstehen.

- Level c (verwaltet): Mittlere Reife (40 % bis < 60 %)
- Level d (integriert): Mittel-hohe Reife (60 % bis < 80 %)
- Level e (optimiert): Hohe Reife (80 % bis 100 %)

Die Model Richness Variable erläutert *Succar* (2015) nicht weiter und beschreibt lediglich, dass mit ihrer Hilfe die Anzahl der angewendeten AWF bzw. die dadurch erzielten Ergebnisse erfasst werden (vgl. *Succar)*. Abschließend handelt es sich bei dem Macro Maturity Model um ein System, mit dessen Hilfe die Reife von BIM auf einer Makroebene (in Form ganzer Industrien oder Märkte) anhand acht unterschiedlicher Bereiche bestimmt wird (vgl. *Succar*, 2014b). Sowohl die Model Richness Variable als auch das Macro Maturity Model werden hier nicht weiter betrachtet.

Prinzipiell sind die Überlegungen von Succar hilfreich, um Ideen zu erhalten, wie AWF bewerten werden können. Allerdings liefert Succar nur wenige Informationen darüber, wie eine tatsächliche Bewertung erfolgen könnte. Beispielsweise bleibt unklar, wie im Rahmen des Individual Comptency Index eine genaue Einteilung der Fähigkeiten und Qualifikationen in die einzelnen Level erfolgt. Auch liefert er keine Übersicht, welche Fähigkeiten und Qualifikationen überhaupt bewertet werden sollten.

Einzig die Bestimmung des BIM Maturity Index führt er konkreter aus. Dazu formuliert er standardisierte Fragen, in denen der jeweilige AWF aus Kategorie 2 (branchenspezifische AWF), der gerade evaluiert wird, für den Platzhalter [AWF] eingesetzt und entsprechend bewertet werden kann. Es ist jedoch anzumerken, dass auch dort keine klare Differenzierung vorliegt, wann bspw. eine Einordnung in Level a oder Level b erfolgt bzw. diese Einordnung auf Grund der Formulierung einzelner Fragen unmöglich erscheint.

Als exemplarische Fragen führt *Succar* (2015) die folgenden Fragen auf und erwähnt, dass weitere Fragen individuell ergänzt werden müssten:

- Besteht Erfahrung in der Verwendung von [AWF] in der jeweiligen Projektart?
- Wenn ja, in wie vielen Projekten wurde [AWF] in den letzten Jahren verwendet?
- In welcher BIM-Software besteht Erfahrung?

- Was ist die wesentliche Software, die bei der Verwendung von [AWF] verwendet wurde?
- Gibt es dokumentiere Prozesse zur Verwendung von [AWF]?
- Welche Standards werden zur Verwendung von [AWF] befolgt?
- Welche Dokumente werden bei der Anwendung von [AWF] geliefert?

Dennoch bilden die Ideen von Succar eine gute Grundlage für die vorliegende Arbeit. Zwar müssen die von ihm gesammelten AWF und ihre Einteilung sowie die Bewertung aufgrund der in diesem Kapitel erläuterten Punkte kritisch analysiert und entsprechend überarbeitet werden. Allerdings scheint eine Darstellung einzelner AWF in einem Projekt oder Unternehmen in Form des Modellrads von Succar gemäß Abbildung 50 eine nützliche Visualisierung zu sein. Bei dem Modellrad handelt es sich um die zusammengefasste grafische Darstellung der Bewertung von AWF. Im linken Rad A wird dabei in Form einer blauen Markierung angegeben, welche AWF im jeweiligen Projekt oder Unternehmen überhaupt benötigt werden. Durch die kreisförmige Anordnung und farbliche Hervorhebung kann das menschliche Auge schnell erkennen, ob bspw. etwa 1/4, 1/2 oder 3/4 aller AWF angewandt werden. Im rechten Rad B wird anschließend nach erfolgter Bewertung der Reifegrad für jeden AWF einzeln dargestellt. Succar schlägt dazu die folgende farbliche Abstufung[6] in Abhängigkeit des Reifegrads vor:

- Level a (initiiert): Geringe Reife (0 % bis < 20 %)
- Level b (definiert): Mittel-geringe Reife (20 % bis < 40 %)
- Level c (verwaltet): Mittlere Reife (40 % bis < 60 %)
- Level d (integriert): Mittel-hohe Reife (60 % bis < 80 %)
- Level e (optimiert): Hohe Reife (80 % bis 100 %)

[6] Es ist anzumerken, dass die Wertebereiche von Succar nicht präzise definiert sind. Er definiert beispielsweise Level a von 0 % bis 20 % und Level b beginnt erst bei 21 %. Der Bereich zwischen 20 % und 21 % entspricht damit weder Level a noch Level b. Aus diesem Grund werden die von Succar definierten Wertebereiche minimal angepasst, so dass keine Lücken entstehen.

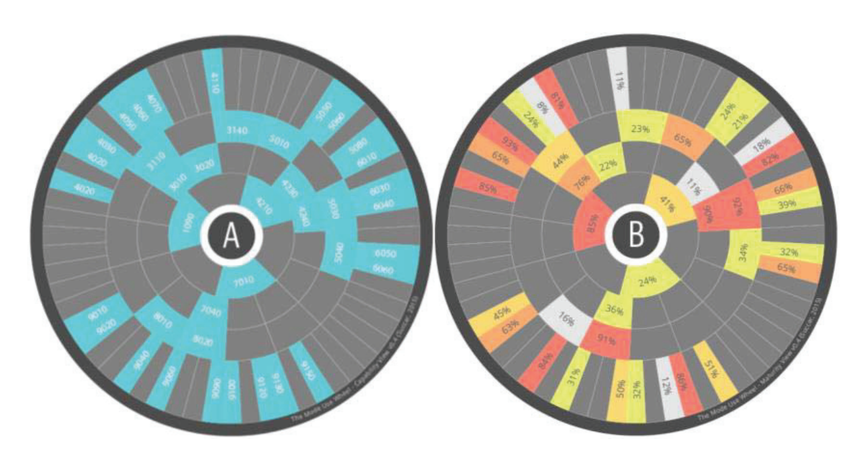


Abbildung 50: Grafische Darstellung der Bewertung von AWF mit dem Modellrad (*Succar et al.*, 2016, S. 54)

Im Verlauf dieser Arbeit ist zu entwickeln, wie eine Bewertung einzelner AWF konkret aussehen könnte und was die jeweilige Einordnung für die Praxis bedeutet. Es wurde bereits erwähnt, dass Succar keine Angaben liefert, wann genau ein AWF in Level a, b oder c etc. eingeordnet wird. Zudem stellt sich für Anwender die Frage, ob ein AWF bspw. zwingend auf Level c ausgeführt werden muss oder ob er auch schon mit Level a im Projekt angewandt werden kann. Diese Überlegungen werden in Kapitel 7.1 aufgegriffen.

5.2.3 Enabler nach Sanchez

Weitere Forschungsarbeiten im Zusammenhang mit AWF stammen von *Sanchez et al.* (2016). Sie haben sog. „Enabler“ [7] identifiziert. Diese definieren sie als Prozesse und Werkzeuge, die die Realisierung oder Steigerung bestimmter Nutzen im Zusammenhang mit BIM erleichtern bzw. ermöglichen (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 62). Im Hinblick auf die in Kapitel 2.3 vorgestellte Definition eines AWF können viele Enabler als AWF verstanden

[7] Aus dem Englischen: Befähiger oder Ermöglicher

werden. Einige Enabler sind jedoch als Grundlagen für die eigentliche Anwendung von BIM zu verstehen (z. B. der Enabler „Interoperability and data formats“), andere beziehen sich auf die Nutzung weiterer Tools oder Technologien (z. B. „Lean construction principles“) und werden daher nicht weiterverwendet.

Sanchez et al. (2015, S. 278) greifen auf die Untersuchungen der Penn State University aus Kapitel 5.2.1 zurück und entwickeln diese mit Hilfe von Experteninterviews weiter. Die Enabler werden in zwei übergeordnete Kategorien („Intrinsic/core“ und „In Use) differenziert (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 205):

- Intrinsic/core: In diese Kategorie werden die grundlegenden Enabler eingeordnet. Sie bilden die Basis zur Anwendung von BIM und sollten zunächst implementiert sein, bevor weitere Enabler angewendet werden.
- In Use: In dieser Kategorie finden sich Enabler, die zwar zum Teil bereits angewendet werden, jedoch nicht zu den grundlegenden Enablern zählen oder Enabler, die noch nicht bzw. erst in Zukunft angewendet werden.

Die Kategorie „Intrinsic/core“ beinhaltet sieben Enabler, wobei vier davon in Form von acht untergeordneten Enablern präziser beschrieben werden. Die Kategorie „In use“ umfasst 29 Enabler. Hier werden ebenfalls vier Enabler in acht untergeordneten Enablern genauer erläutert. Zusammengefasst erarbeiten *Sanchez et al.* (2016, S. 205-296) somit 36 Enabler in den beiden übergeordneten Kategorien und 16 untergeordnete Enabler. Seit 2015 sind die Enabler und ihre Beschreibungen auch online zugänglich (vgl. *Australian Sustainable Built Environment National Research Centre*, 2015). Dort wird auf die vorgestellte Differenzierung verzichtet. Die Webseite listet insgesamt 47 Enabler auf. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der 36 Enabler aus den übergeordneten und den 16 Enablern aus den untergeordneten Kategorien. Die meisten Enabler werden um eine Kurzbeschreibung, ein Anwendungsbeispiel und entsprechende Referenzen ergänzt.

Die Enabler wurden im Hinblick auf die Gültigkeit der Definition eines AWF geprüft. Im Ergebnis wurden 16 Enabler ausgeschlossen. Die nachfolgende

Auflistung zeigt die 31 Enabler, die auch als AWF klassifiziert wurden, in Form einer deutschen Übersetzung:

1. Ableitung von Plänen
2. Animationen und Simulationen
3. Aufzeichnung der Bauwerksentstehung
4. Automatisierte Kollisionserkennung
5. Automatisierte Regelprüfung
6. Bauablaufplanung (4D-Modellierung)
7. Baudokumentation
8. Baugerätesteuerung
9. Baustellenkoordination
10. Bauwerksplanung (3D-Modellierung)
11. Bauwerks-Wissensmanagement
12. Bewertung der Bauwerksperformance
13. BIM-basierter Bauwerksbetrieb
14. Digitale Fertigung
15. Energiesimulationen
16. Flächenmanagement und -verfolgung
17. Katastrophenplanung und -analyse
18. Konstruktionsanalyse
19. Kostenplanung (5D-Modellierung)
20. Laserscanning
21. Logistikoptimierung
22. Mengenermittlung
23. Nachhaltigkeitsbewertungen
24. Normenprüfung
25. Parametrische und datenreiche Modellobjekte
26. Photogrammetrie
27. Prüfung der Planung
28. Standortnutzungsplanung und -analyse
29. Technische Analysen
30. Virtuelle Variantensimulation
31. Vorbeugende Wartungsplanung

Das Besondere an den Ergebnissen von *Sanchez et al.* (2016) für die vorliegende Arbeit ist jedoch weniger die vorgestellte Einteilung, Identifikation und Beschreibung der AWF, sondern die weiteren Zuordnungen zur Messung der Nutzen, die sie erarbeitet haben. Diese werden in Kapitel 6.2.2 erläutert.

5.2.4 Anwendungsfälle der BIM4Infra

In Deutschland konnte nur eine Quelle gefunden werden, die sich intensiver mit AWF auseinandersetzt. Dabei handelt es sich um die *BIM4Infra2020* (2018) des BMVI, die die deutschen BIM Pilotprojekte im Rahmen des Stufenplans Digitales Planen und Bauen begleitet. Die zugehörige InfraBIM-Reifegradmetrik wurde bereits in Kapitel 4.4.5 vorgestellt.

Das Besondere an den Ergebnissen der BIM4Infra ist, dass sie gegenüber den bisher vorgestellten AWF eine andere Form der Beschreibung bzw. Einordnung vornehmen. Die Anwendungsfälle sollen abstrakt formuliert sein. Aus diesem Grund grenzen sie von den eigentlichen AWF sog. „BIM-gestützte Verfahren“ ab. Dabei handelt es sich bspw. um „modellbasierte Mengenermittlungen, automatisierte Kollisionsprüfungen […], 4D- und 5D-Simulationen“ (*BIM4Infra2020*, 2018, S. 4). BIM-gestützte Verfahren sind Mittel oder Methoden, um AWF umzusetzen (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 4). Für jeden AWF erfolgt eine umfassende Beschreibung in Form der folgenden Teilaspekte (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, Anhang A):

- Kurzbeschreibung
- Detaillierung
- Nutzen
- Status Quo
- Implementierungsaufwand
- Mehr- und Minderaufwände in der Projektbearbeitung

Ergänzend dazu haben die Mitglieder der BIM4Infra im Frühsommer 2019 Steckbriefe zu den wichtigsten AWF veröffentlicht, in denen jeder der 20 AWF definiert und folgende Fragen stichpunktartig beantwortet werden (vgl. *Borrmann et al.*, 2019):

- Nutzen: Welcher Mehrwert ist durch die Umsetzung des AWF zu erwarten?
- Implementierungsvoraussetzungen: Was ist bei der Umsetzung des Anwendungsfalles insbesondere zu berücksichtigen?
- Umsetzung: Wie wird der AWF umgesetzt?
- Daten, Modelle & Formate: Welche gängigen Daten, Modelle und Formate können für diesen AWF relevant sein?
- Projekt-/Praxisbeispiele

Zusätzlich erfolgt eine zeitliche Einordnung in die HOAI Leistungsphasen 1-9 sowie in die Betriebsphase (B) gemäß Tabelle 18.

Tabelle 18: Anwendungsfälle der Arge BIM4Infra2020(2018, S. 11)

	Bezeichnung des AWF	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**B**
1	Bestandserfassung	x	x								
2	Planungsvariantenuntersuchung		x								
3	Visualisierungen		x	x	x	x			x		
4	Bemessung/Nachweisführung			x	x	x					
5	Koordination der Fachgewerke		x	x		x					
6	Fortschrittskontrolle der Planung					x					
7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen		x	x	x						
8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung			x		x			x		
9	Planungsfreigabe		x	x	x	x					
10	Kostenschätzung und Kostenberechnung		x	x							
11	Leistungsverzeichnis und AVA						x	x			
12	Terminplanung der Ausführung			x	x	x			x		
13	Logistikplanung					x			x		
14	Erstellung von Ausführungsplänen										
15	Baufortschrittskontrolle								x		
16	Änderungsmanagement bei Planungsänderungen								x		
17	Abrechnung von Bauleistungen								x		
18	Mängelmanagement								x	x	
19	Bauwerksdokumentation									x	
20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung										x

Während die Angaben zum Implementierungsaufwand, zum Projektaufwand und zum Nutzen wertvolle Erkenntnisse für Kapitel 6.2 liefern, ist die eigentliche Einordnung und Beschreibung der AWF an einigen Stellen kritisch zu hinterfragen. Insbesondere erscheint die Abgrenzung der AWF zu den „BIM-gestützten Verfahren“ für den weiteren Verlauf in dieser Arbeit als nicht notwendig oder zielführend. Beispielsweise sind hier die AWF 7 und 14 zu nennen. Die automatisierte Ableitung von Plänen ist ein großer Vorteil der BIM-Methode. Dabei handelt es sich allerdings um ein Ziel, das sich aus der modellbasierten Objekt- oder Fachplanung ergibt und nicht um einen eigenständigen AWF. Des Weiteren ist die Differenzierung zwischen der Erstellung von Entwurfs- und Ausführungsplänen nicht notwendig. Bei Anwendung des entsprechenden AWF können jederzeit aus dem zugehörigen Modell Pläne abgeleitet werden. Die Art der abgeleiteten Pläne hängt vom Stand des Modells ab. Entspricht dieser dem Stand einer Entwurfsplanung, so können Entwurfspläne abgeleitet werden. Entspricht der Stand dem einer Ausführungsplanung, so lassen sich Ausführungspläne erzeugen. Und liegt das Modell mit einem Entwicklungsstand einer Montageplanung oder „as-built“ vor, so können Montage- oder Bestandspläne abgeleitet werden.

Ebenfalls ist die zeitliche Einordnung an einigen Stellen zu diskutieren. Exemplarisch wird dazu AWF 3 (Visualisierungen) hervorgehoben. Vor allem in sehr frühen Projektphasen (z. B. im Rahmen der Bedarfsermittlung) können erste Visualisierungen sehr hilfreich sein, um Stakeholdern oder baufremden Beteiligten Ideen einfach und sehr anschaulich vermitteln zu können. Genauso können Visualisierungen in den HOAI Leistungsphasen 6 und 7 im Zuge der Vergabe wertvolle Unterstützungen sein, um Fragen der Bieter oder Unklarheiten verständlich kommunizieren zu können. Die exakte zeitliche Einordnung der AWF muss dementsprechend geprüft werden. Andere AWF sind hingegen sehr präzise in Bezug auf die korrekte zeitliche Einordnung formuliert. So ist klar, das beispielsweise AWF 15 (Baufortschrittskontrolle) oder AWF 17 (Abrechnung von Bauleistungen) nur während der eigentlichen Bautätigkeit in HOAI Leistungsphase 8 vorkommen. Wohingegen AWF 16 (Änderungsmanagement bei Planungsänderungen) vermutlich auch in früheren Phasen vorkommen kann und somit passender nicht ausschließlich Leistungsphase 8 zugeordnet werden sollte.

5.2.5 Katalog der BIM-Anwendungsfälle

In den vorherigen vier Kapiteln (5.2.1 bis 5.2.4) handelt es sich um relevante Forschungsarbeiten zur Beschreibung und Einordnung von AWF, die verschiedene Vor- und Nachteile haben. Um sicherzustellen, dass die in Deutschland verwendeten AWF möglichst umfassend erfasst und abgebildet werden, ist im Rahmen einer dreistufigen Vorarbeit für diese Arbeit von *Deubel et al.* (2018) der Katalog der BIM-Anwendungsfälle entstanden und in Teilen bereits veröffentlicht.

Stufe 1 (Projekt- und Literaturrecherche)

Zunächst erfolgte dazu in Stufe 1 eine Projekt- und Literaturrecherche. Die Datenbasis der Projektrecherche bildeten u. a. die wissenschaftlichen Begleitberichte über die BIM-Pilotprojekte des BMVI und eine Internetsuche. Für die Literaturrecherche wurden häufig zitierte deutschsprachige Quellen herangezogen, wie bspw. *Egger et al.* (2013), *Borrmann et al.* (2015) oder *Hausknecht* und *Liebich* (2016). Insgesamt wurden dadurch 407 potentielle AWF tabellarisch erfasst. Allerdings wurde deutlich, dass davon viele inhaltlich vergleichbar sind und lediglich unterschiedlich bezeichnet werden.

Stufe 2 (Experteninterviews)

Daher erfolgte nach einer Bereinigung der Sammlung in Stufe 2 ein Abgleich der Ergebnisse mit Hilfe von drei Experteninterviews im August 2017. Dadurch wurden 69 weitere AWF identifiziert und erfasst. Die bis dahin entstandene Sammlung wurde thematisch weiterentwickelt und die AWF in drei verschiedene Detaillierungsebenen eingeordnet. Zu diesem Zeitpunkt lagen auf Ebene 1 die nachfolgenden sechs verschiedenen AWF vor (in Klammern dahinter ist die jeweilige Anzahl der AWF auf Ebene 2 angegeben):

- Phasenunabhängige AWF (3)
- Modellbasierte Objekt- und Fachplanung (16)
- Modellbasierte Planungs- und Baustellenkoordination (12)
- Modellbasierte Bauablauf- und Logistikplanung (2)
- Modellbasierte Ausführung (9)
- Modellbasierter Objektbetrieb und -abbruch (9)

Stufe 3 (Umfrage)

Das bildete die Ausganslage für die Umfrage in Stufe 3. Es handelt sich dabei um die in Kapitel 5.1 bereits in Teilen vorgestellte Umfrage von *Deubel et al.* (2018). Die 51 AWF auf Ebene 2 wurden gemäß ihrer Zugehörigkeit zu Ebene 1 kategorisiert und den Umfrageteilnehmern vorgelegt. Zu jedem AWF der Ebene 2 konnte angekreuzt werden, ob der Umfrageteilnehmer daran beteiligt ist oder nicht. Zudem bot sich am Ende jeder Gruppe der 1. Ebene die Möglichkeit, mit Hilfe eines Freitext-Formulars weitere AWF zu ergänzen. Abbildung 51 zeigt den Aufbau der Umfrage auszugsweise für die Gruppe der phasenunabhängigen AWF.

	Ja, ich bin beteiligt	Nein, ich bin nicht beteiligt
Dynamische Ableitung von Daten (Plänen, Listen, Formulare usw.)	○	○
Visualisierung	○	○
Prognosen und Simulationen	○	○
	○	○

Abbildung 51: Aufbau der Umfrage zu AWF (Auszug)

Insgesamt konnten durch die Umfrage 23 neue AWF identifiziert werden, wovon acht neu in Ebene 2 sowie 15 neu in Ebene 3 hinzugekommen sind und der Katalog der AWF dadurch ergänzt wurde.

Tabelle 19 zeigt den Katalog auszugsweise. Auf der linken Seite sind die drei Ebenen der AWF dargestellt (Ebene 1 bis 3). Es handelt sich um unterschiedliche Detaillierungsebenen, ähnlich wie auch *Kreider* und *Messner* (2013) sowie *Succar* (2015) versuchen verschiedene Detaillierungsebenen voreinander abzugrenzen. Im rechten Bereich sind 17 verschiedene Projektrollen und 9 Anwendungsphasen dargestellt.

Tabelle 19: Katalog der BIM-Anwendungsfälle[8]

Ebenen der Anwendungsfälle			Projektrollen																	Anwendungsphasen								
1. Ebene der AWF	2. Ebene der AWF	3. Ebene der AWF	Bauherr	Projektsteuerung	BIM-Beratung	Sonstige Beratung	Objektplanung	Fachplanung	Bauausführung	Genehmigungsbehörde	Sonstige Behörden	Facility Management	(Bau-) Zulieferer	Softwarehersteller	Maschinenhersteller	Forschung und Lehre	Finanzierung	Versicherung	Andere nicht genannte	Projektvorbereitung	Leistungsphase 1-2	Leistungsphase 3	Leistungsphase 4	Leistungsphase 5	Leistungsphase 6-7	Leistungsphase 8	Betrieb	Abbruch
Modellbasierte Objekt- und Fachplanung																												
	Modellbasierte Bestands-erfassung		x	-	x	-	x	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	x	x									
		Modellieren des 3D-Bestandsmodells des Objekts																										
		Modellieren des städtebaulichen 3D-Umgebungsmodells																										
		Modellieren des Geländes																										
		Modellieren der Bodenschichten und deren Eigenschaften																										
		Darstellen und Bewerten des Bauwerkszustandes (Zustandserfassung)																										
		Nutzen von Technologien wie Laserscanning, 360-Grad-Fotos, Drohnenbefliegung zur teilautomatisierten Bestandsmodellierung																										
		Nutzen von öffentlich verfügbaren Kataster-, Vermessungs- und Bestandsdaten zur teilautomatisierten Bestandsmodellierung																										

Ein gesetztes Kreuz in den Spalten bedeutet, dass der jeweilige AWF in der angekreuzten Projektrolle oder Anwendungsphase angewendet wird. Die Zuordnung zu den Anwendungsphasen wurde jedoch zum damaligen Zeitpunkt nicht erarbeitet. Die Zuordnung zu den Projektrollen wurde im Rahmen der Umfrage für die AWF der 2. Ebene erarbeitet. Abbildung 52 zeigt die Ergebnisse zusammenfassend. Durchschnittlich ist jede Projektrolle an 14,4 AWF beteiligt (245 Beteiligungen/17 Projektrollen). Auffällig ist jedoch die hohe Beteiligung der Rolle „Versicherung“ und die höchste Beteiligung der Rolle „Andere nicht genannte“ sowie die Nicht-Beteiligung der Projektrollen „Sonstige Beratung“, „Genehmigungsbehörde“, „Facility Management“, „Maschinenhersteller“ und „Finanzierung“.

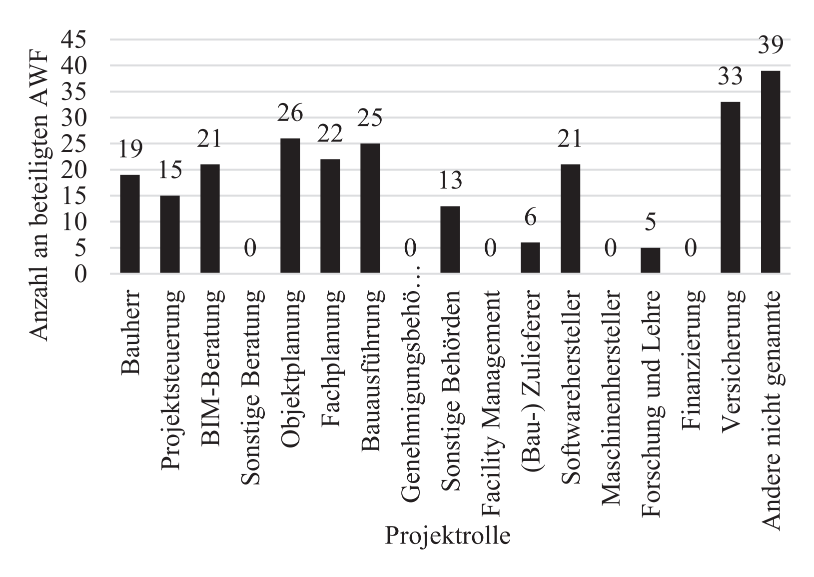


Abbildung 52: Anzahl der Beteiligungen an AWF der 2. Ebene in Abhängigkeit der Projektrolle

[8] Online vollständig verfügbar unter: https://www.tmb.kit.edu/download/Katalog_der_BIM-Anwendungsfaelle.pdf

Dieser Umstand kann mit Hilfe von Abbildung 53 begründet werden. Zwar haben insgesamt 284 Teilnehmer angegeben, in welcher Projektrolle sie überwiegend tätig sind. Allerdings haben zum einen nicht alle Teilnehmer Zuordnungen hinsichtlich ihrer Beteiligungen an den einzelnen AWF angegeben, zum anderen haben die Rollen „Genehmigungsbehörde“ und „Finanzierung“ überhaupt nicht teilgenommen, so dass sich daraus zwangsläufig ergeben muss, dass sie nicht an AWF beteiligt sind. Tatsächlich dürfte dieser Umstand anders aussehen.

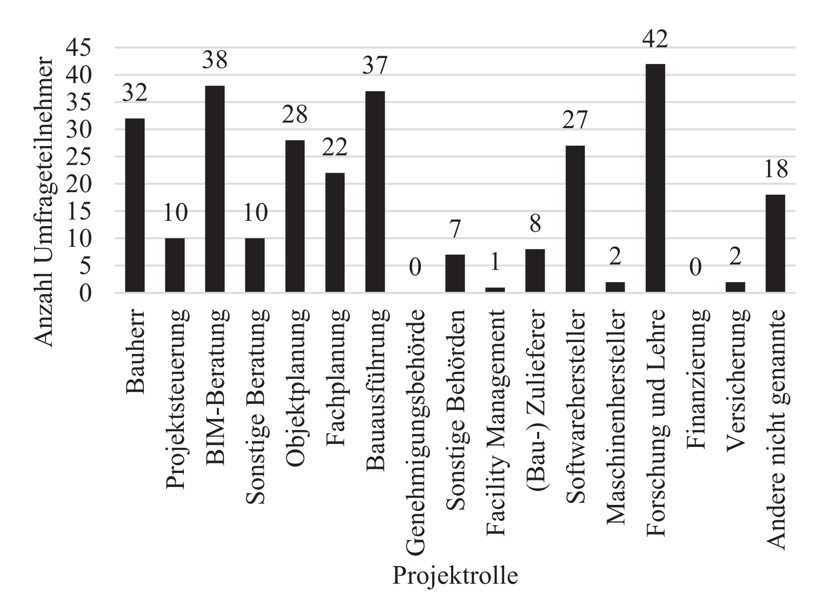


Abbildung 53: Anzahl der Umfrageteilnehmer, differenziert nach Projektrolle

Die Belastbarkeit der Umfrageergebnisse ist daher in einigen Bereichen kritisch zu betrachten. Dazu zählen auch die Rollen „Facility Management“, „Maschinenhersteller“ und „Versicherung“ mit jeweils nur einem bzw. zwei Teilnehmern. Dennoch hat die Umfrage geholfen, die Vorarbeiten aus den Stufen 1 und 2 zu ergänzen. Abschließend erfolgt auf Ebene 1 im Katalog die

Abgrenzung in die folgenden sechs Bereiche (in Klammern dahinter ist die jeweilige Anzahl der AWF auf Ebene 2/Ebene 3 angegeben):

- Phasenunabhängige AWF (4/10)
- Modellbasierte Objekt- und Fachplanung (19/85)
- Modellbasierte Planungs- und Baustellenkoordination (12/48)
- Modellbasierte Bauablauf- und Logistikplanung (2/12)
- Modellbasierte Ausführung (10/29)
- Modellbasierter Objektbetrieb und -abbruch (12/66)

Auf Ebene 2 befinden sich insgesamt 59 AWF und in der dritten Ebene sind 250 AWF eingeordnet. Mit zunehmender Ebene werden die AWF präziser differenziert. Beispielsweise ergeben sich aus der „modellbasierten Objekt- und Fachplanung" (Ebene 1) die folgenden 19 verschiedenen AWF auf Ebene 2 (in Klammern dahinter ist die jeweilige Anzahl der AWF auf Ebene 3 angegeben):

- Modellbasierte Bestandserfassung (7)
- Modellbasierte Vermessung (3)
- Modellbasierte geometrische und parametrische Modellierung (8)
- Modellbasierte Bauwerksdokumentation (1)
- Modellbasierte Variantenuntersuchung (7)
- Modellbasierte Projektentwicklung (5)
- Modellbasierte Modellbewertung und Regelprüfung (13)
- Modellbasierte 4D-Planung (3)
- Modellbasierte 5D-Planung (5)
- Modellbasierte Mengen- und Kostenermittlung (4)
- Modellbasierte Leistungsbeschreibung (2)
- Modellbasierte Abrechnung der Planung (1)
- Modellbasierte Kalkulation der Planung (3)
- Modellbasiertes Nachhaltigkeits- und Energiemanagement (4)
- Modellbasierte Ressourcenplanung (2)
- Modellbasierte Planung von Arbeits- und Gesundheitsschutz (2)
- Modellbasierte Vorfertigung und Kommissionierung (4)
- Modellbasierte Genehmigung (4)
- Modellbasierte Ausschreibung und Vergabe (7)

Diese werden in der dritten Ebene in insgesamt 85 weitere AWF untergliedert. Beispielsweise wird die „modellbasierte Bestandserfassung“ (Ebene 2) in die folgenden sieben AWF auf dritter Ebene unterteilt:

- Modellieren des 3D-Bestandsmodells des Objekts
- Modellieren des städtebaulichen 3D-Umgebungsmodells
- Modellieren des Geländes
- Modellieren der Bodenschichten und deren Eigenschaften
- Darstellen und Bewerten des Bauwerkszustandes (Zustandserfassung)
- Nutzen von Technologien wie Laserscanning, 360-Grad-Fotos, Drohnenbefliegung zur teilautomatisierten Bestandsmodellierung
- Nutzen von öffentlich verfügbaren Kataster-, Vermessungs- und Bestandsdaten zur teilautomatisierten Bestandsmodellierung

Bei dem Katalog der BIM-Anwendungsfälle handelt es sich damit um eine der umfassendsten Sammlungen von AWF im nationalen und internationalen Umfeld. Allerdings ist auch hier die exakte Zuordnung schwierig und es handelt sich an einigen Stellen eher um eine zeitliche und rollenspezifische Zuordnung, die jedoch eigentlich über die Spalten auf der rechten Seite erfolgen sollte und daher ebenfalls Verbesserungspotenzial bietet. Auch im Hinblick auf die von *Succar* (2015) geführte Überlegung der idealen Anzahl an AWF (vgl. Kapitel 5.2.2) ist die Nutzbarkeit des Katalogs der BIM-Anwendungsfälle auf der 3. Ebene kritisch zu hinterfragen.

5.3 Zusammenführung und Ergebnisdarstellung

Alle vorgestellten Untersuchungen zu AWF liefern wertvolle Erkenntnisse, bieten jedoch gleichzeitig an verschiedenen Stellen Verbesserungspotenziale und Raum zur Erweiterung. Daher erfolgt in dieser Arbeit eine Synthese der Untersuchungen, um ein geeignetes System für die Einordnung und Beschreibung von AWF zu entwickeln und um darauf aufbauend Aussagen zu den Aufwänden und Nutzen treffen zu können. Hinsichtlich der Einteilung der Projektbeteiligten und -phasen wird auf die Systematik aus Kapitel 2.4 zurückgegriffen.

Nach einer abschließenden Prüfung im Hinblick auf die Definition eines BIM-Anwendungsfalls werden vom CIC der Penn State alle 25 AWF übernommen. Bei Succar finden die AWF seiner Serien 2000 bis einschließlich 7000 der branchenspezifischen AWF Berücksichtigung, wobei die beiden AWF „Lean Process Analysis" und „Selection and Specification" ausgeschlossen werden, da sie nicht der Definition von AWF entsprechen. Somit werden von Succar 67 der 69 von ihm aufgeführten AWF übernommen. Von Sanchez finden 33 der 47 AWF Einfluss, wobei zwei davon inhaltliche Überschneidungen aufweisen, so dass die eigentlichen 31 voneinander abgrenzbaren und von Sanchez verwendeten AWF in Kapitel 5.2.3 aufgeführt sind. Alle 20 AWF der BIM4Infra werden übernommen. Aus dem ursprünglichen Katalog der AWF genügen 55 AWF der 2. Ebene den Anforderungen der Definition eines AWF und werden ebenfalls verwendet, wobei der AWF „Modellbasierte Mengen- und Kostenermittlung" zweifach verwendet wird.[9] Aus diesem Grund ergibt sich bei Aufsummierung der Spaltenwerte des Katalogs der AWF inTabelle 20 ein Wert von 56 anstatt 55.

Die identifizierten AWF der einzelnen Quellen werden gegenübergestellt und geprüft, ob der AWF auch in anderen Quellen erwähnt wird. Im Ergebnis werden daraus 36 Anwendungsfälle abgeleitet, die in Tabelle 20 in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt sind. In den Spalten auf der rechten Seite ist angegeben, wie viele AWF aus der jeweiligen Quelle der neue AWF beinhaltet.

[9] Der AWF wurde in die beiden neuen AWF Mengenermittlung und Kostenermittlung (5D Planung) getrennt.

Tabelle 20: Zusammenführung der AWF aus den einzelnen Quellen

Nr.	BIM-Anwendungsfall	CIC Penn State	Succar	Sanchez	BIM4Infra	Katalog AWF	**SUMME**
1	Abrechnung von Leistungen	0	0	0	1	2	**3**
2	Änderungsmanagement	0	0	0	1	1	**2**
3	Arbeits-/Gesundheitsschutz	0	2	0	1	2	**5**
4	As-Built Modellierung	1	2	1	1	1	**6**
5	Asset Management	1	2	2	0	1	**6**
6	Ausschreibung und Vergabe	0	0	0	1	2	**3**
7	Automatisierung	0	1	0	0	1	**2**
8	Bauablaufplanung (4D Planung)	1	1	1	1	2	**6**
9	Baudokumentation	0	1	1	0	1	**3**
10	Baufortschrittskontrolle	0	0	0	1	4	**5**
11	Baugerätesteuerung und -verwaltung	1	0	1	0	1	**3**
12	Baustellenkoordination	1	2	3	1	2	**9**
13	Bauwerksanalyse/Leistung überwachen	1	3	1	0	0	**5**
14	Bestandserfassung	1	4	2	1	2	**10**
15	Entwurfsbewertung	1	0	2	1	2	**6**
16	Fachplanung	1	1	1	0	0	**3**
17	Facility Management	1	3	1	1	3	**9**
18	Flächenmanagement	1	3	1	0	3	**8**

Nr.	BIM-Anwendungsfall	CIC Penn State	Succar	Sanchez	BIM4Infra	Katalog AWF	**SUMME**
19	Genehmigungsplanung	0	0	0	1	1	**2**
20	Gewerkekoordination	1	2	1	1	3	**8**
21	Ingenieurtechnische Analysen	5	11	2	1	1	**20**
22	Katastrophenmanagement	1	2	1	0	0	**4**
23	Kostenermittlung (5D Planung)	1	1	1	1	4	**8**
24	Mengenermittlung	0	1	1	0	1	**3**
25	Modellierung (3D Planung)	1	4	2	0	1	**8**
26	Nachhaltigkeitsbewertung	1	3	1	0	1	**6**
27	Nachtrags- und Mängelmanagement	0	0	0	1	2	**3**
28	Objektdokumentation	0	1	0	0	3	**4**
29	Planerstellung und -freigabe	0	1	1	3	3	**8**
30	Raum- und Funktionsprogramm	1	2	0	0	0	**3**
31	Regelprüfung	1	1	2	0	1	**5**
32	Ressourcenplanung	0	1	0	0	2	**3**
33	Rückbau	0	2	0	0	1	**3**
34	Standortanalyse	1	1	1	0	0	**3**
35	Visualisierung	0	3	2	1	1	**7**
36	Vorfertigung	1	6	1	0	1	**9**
	SUMME	**25**	**67**	**33**	**20**	**56**	**201**

Acht AWF werden in allen fünf Quellen mindestens einmal benannt (keine „0“ in den fünf Quellenspalten). Hier liegt somit eine vollständige Übereinstimmung vor. Neun AWF werden in jeweils vier Quellen mindestens einmal aufgeführt (einmal „0“ in den fünf Quellenspalten). Acht AWF in jeweils drei Quellen (zweimal „0“ in den fünf Quellenspalten) und elf AWF in jeweils zwei Quellen (dreimal „0“ in den fünf Quellenspalten).

Die Vorgehensweise wird im Folgenden exemplarisch an AWF Nr. 8 „Bauablaufplanung (4D Planung)“ erläutert. Der AWF findet in allen fünf ausgewerteten Quellen Berücksichtigung. Insgesamt sechs einzelne AWF wurden ihm zugeordnet.

Das CIC der Penn State beschreibt den AWF „Phase Planning – 4D Modeling“ was in dieser Arbeit mit Phasenplanung (4D) übersetzt wird und erläutert (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 69):[10] „Bei der Phasenplanung handelt es sich um einen Prozess, bei dem ein 4D-Modell (3D-Modell mit zusätzlicher Dimension Zeit) verwendet wird, um die stufenweise Belegung bei einer Renovierung, Nachrüstung, Erweiterung oder um die Darstellung des Bauablaufs und den Platzbedarf auf einer Baustelle zu planen. Die 4D-Modellierung ist ein leistungsstarkes Visualisierungs- und Kommunikationstool, das einem Projektteam, einschließlich des Eigentümers, ein besseres Verständnis der Projektmeilensteine und Baupläne vermitteln kann.“

Succar (2015) definiert in der Serie 4000 (Simulieren und Quantifizieren, vgl. Kapitel 5.2.2) den AWF „Construction Operation Analysis“, der hier mit Analyse des Baubetriebs übersetzt wird, und führt aus, dass es sich dabei um einen AWF handelt, bei dem 3D-Modelle zur Visualisierung und Analyse von Bauabläufen verwendet werden.[11]

Sanchez et al. (2016, S. 252) beschreiben den AWF „Phase Planning (4D Modelling)“, der in dieser Arbeit ebenfalls mit Phasenplanung (4D) übersetzt wird, da sie sich bei ihrer Definition auch auf die Definition des CIC der Penn

[10] Eigene deutsche Übersetzung.
[11] Eigene deutsche Übersetzung.

State stützen:[12] „Die Phasenplanung ist der Prozess, bei dem ein 4D-Modell verwendet wird, um die stufenweise Belegung bei einer Renovierung, Nachrüstung, Erweiterung oder um den Bauablauf und den Platzbedarf auf einer Baustelle zu planen. Bei der Bauablaufplanung teilen Bauingenieure die geplante Bauwerksstruktur in kleinere Pakete auf, setzen diese in zueinander logische Beziehungen und schätzen die benötigte Zeit für den Abschluss jedes Pakets unter Berücksichtigung des kritischen Pfads ab. Dazu werden 3D-Modellelemente mit zeit- oder leistungsbezogenen Planungsdaten (4D-Modell) verknüpft. Das 4D-Modell kann für die Analyse und Verwaltung der Bauplanung sowie für die Erstellung von Animationen von Bauprozessen verwendet werden. Dadurch wird die Abstraktion beseitigt und Projektteams ermöglicht, Zeitpläne schnell zu verstehen und potentielle Probleme zu identifizieren.“ Als ergänzende Erläuterung führt das *Australian Sustainable Built Environment National Research Centre* (2015) folgendes Beispiel an:[13] „2008 wurden im Rahmen einer Studie 32 Bauprojekte, die zwischen 1997 und 2009 in Nordamerika, Europa und Asien abgeschlossen wurden, untersucht. Der Einsatz der 4D-Modellierung in der Entwurfsphase ermöglichte sofortige als auch spätere Vorteile. Diese Nutzen reichten von einer verbesserten Kommunikation bis hin zur frühzeitigen Erkennung und Lösung potentieller Baustellenlogistik- oder Gewerkekonflikte. Der Nutzen wurde maximiert, wenn alle bedeutsamen Projektbeteiligten in die Erstellung und Nutzung der 4D-Modelle eingebunden wurden und die Modelle Just-in-time und in angemessener Detailtiefe erstellt wurden.“

Borrmann et al. (2019, S. 26) definierten den AWF „Terminplanung der Ausführung“ als „Nutzung eines durch Verknüpfung von Vorgängen der Terminplanung mit den zugehörigen Modellelementen erstellten 4D-Modells zur Darstellung und Überprüfung des geplanten Bauablaufs. Die *BIM4Infra2020* (2018, S. 48) detailliert: „Die Verknüpfung der 3D-Modelle mit der Terminplanung zur Schaffung von 4D-Modellen erfolgt mithilfe von entsprechenden Softwareprodukten. Dabei ist eine teilautomatische Verknüpfung der einzelnen Modellelemente mit den entsprechenden Vorgängen möglich. Es ist zu

[12] Eigene deutsche Übersetzung.
[13] Eigene deutsche Übersetzung.

beachten, dass im Lauf des Projekts Terminpläne mit bestimmter Konkretisierung erzeugt werden, reichend von Rahmenterminplänen über Grobterminpläne (Meilensteinterminpläne) bis hin zu Detailterminplänen. Je nach Anwendungsphase wird der Bauzeitenplan der Entwurfsphase oder der zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber vereinbarte Vertragsterminplan zu Grunde gelegt. Hinweise zu den verschiedenen Detaillierungsstufen gibt die VDI-Richtlinie 2552-3. Damit 3D-Modell und Bauzeitenplan sinnvoll verknüpft werden können, muss die jeweilige Struktur des Modells, des Vorgangs-/Terminplans und des LV aufeinander abgestimmt entwickelt und gegebenenfalls vorgegeben werden. Aufgrund der Vernetzung der Modelldaten mit Termindaten stellen Änderungen, zum Beispiel infolge von Bauablaufstörungen, eine zusätzliche Herausforderung dar. Als Beispiel lässt sich nennen, dass neu hinzugekommene Elemente in einem zusätzlichen Arbeitsschritt vernetzt werden müssen. Die Vorgehensweise dazu ist ggf. über die AIA anzufordern und im BAP zu beschreiben."

Der Katalog der AWF beinhaltet keine Beschreibungen. Allerdings wurden die „modellbasierte 4D-Planung" der Objekt- und Fachplanung und die „modellbasierte Bauablaufplanung" der Bauablauf- und Logistikplanung zugeordnet. Diese Differenzierung beruhte zum einen auf den Ergebnissen der Umfrage und den damaligen Überlegungen, dass die Bauablaufplanung eines Planers eine andere und üblicherweise nicht so detaillierte wie die des Bauunternehmers im Rahmen der Ausführungskalkulation ist.

Diese Trennung wird im Zuge der Zusammenführung der Ergebnisse aus den einzelnen Quellen allerdings nicht fortgeführt. Im Sinne des idealisierten und damit durchgängigen BIM-Prozesses handelt es sich bei AWF Nr. 8 „Bauablaufplanung (4D Planung)" um eine stetige Fortschreibung und nicht um voneinander getrennte AWF. Die abschließende für diesen AWF entwickelte Kurzbeschreibung lautet daher: „Die Modellobjekte werden mit Zeitinformationen angereichert und den Vorgängen eines Terminplans zugeordnet. Aus diesem 4D-Modell lassen sich der Terminplan ableiten und der Bauablauf simulieren." Tabelle 21 zeigt zusammenfassend für den exemplarischen

AWF Nr. 8, die aus den Quellen jeweils berücksichtigten AWF und in der rechten Spalte die Anzahl.

Tabelle 21: Zusammenstellung der AWF aus den einzelnen Quellen für den exemplarischen AWF Nr. 8

AWF Nr. 8: Bauablaufplanung (4D Planung)	**6**
Computer Integrated Construction Research Programm (2011, S. 69): Phase Planning – 4D Modeling	1
Succar (2015): Construction Operation Analysis	1
Sanchez et al. (2016, S. 252): Phase Planning (4D modelling)	1
BIM4Infra2020 (2018, S. 48): Terminplanung der Ausführung	1
Katalog der AWF: Modellbasierte 4D-Planung Modellbasierte Bauablaufplanung	2

Im nächsten Schritt wird auf Basis der Angaben in den einzelnen Quellen und ergänzt um eigene Überlegungen jeder AWF den in Kapitel 2.4 festgelegten Projektbeteiligten und Projektphasen zugeordnet. Bei den Projektbeteiligten wird zwischen BIM-Autor (A) und BIM-Nutzer (N) unterschieden. Die Unterscheidung zwischen Autor und Nutzer ist wichtig, um im weiteren Verlauf Aufwand und Nutzen zwischen den einzelnen Projektbeteiligten abgrenzen zu können. Der Anwendungsaufwand für den AWF fällt beim BIM-Autor an. Sowohl BIM-Autor als auch BIM-Nutzer können Nutzen daraus ziehen. Exemplarisch zeigt Tabelle 22 die Zuordnungen für den AWF „Bauablaufplanung (4D Planung)“. Die Zuordnung hat allgemeingültigen Charakter, sollte jedoch projektindividuell überprüft und in Abhängigkeit der tatsächlichen Projektorganisationsstruktur ggfs. angepasst werden.

Tabelle 22: Phasen- und Rollenzuordnung für AWF Nr. 8 Bauablaufplanung

Bezeichnung	**Nr. 8 Bauablaufplanung (4D Planung)**					
Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung	N			A	N	
Projektbetrieb						

Für jeden der 36 in Tabelle 20 gezeigten AWF wurden die exemplarisch an AWF Nr. 8 gezeigten Schritte durchgeführt. Die AWF finden sich in Anhang D in Form einzelner Steckbriefe.

Die Ergebnisse aus diesem Kapitel und somit die Informationen aus den Steckbriefen bilden die grundlegenden Eingangsdaten zur Modellierung der Wirtschaftlichkeit von BIM in Kapitel 7. Zuvor werden im folgenden Kapitel 6 konkrete Aufwände und Nutzen aus den AWF abgeleitet und die Steckbriefe damit ergänzt.

6 Aufwände und Nutzen von BIM

6.1 Vorbemerkungen

Bisher unbeantwortet ist die Frage, welche Vor- und Nachteile oder Nutzen und Aufwände einzelne AWF haben können. Auch dazu gibt es bereits Voruntersuchungen, die in diesem Kapitel kurz dargestellt und anschließend hinsichtlich der neu erarbeiteten Kategorisierung der AWF aus Kapitel 5.3 zusammengeführt werden. Als erster Schritt werden dazu in Kapitel 6.2 die Aufwände und Nutzen aus den vorgestellten AWF abgeleitet. In Kapitel 6.3 werden weitere Aufwände für BIM beschrieben. Diese lassen sich direkt, beispielsweise in Form von aufgebrachten Arbeitsstunden [h] oder angefallenen Kosten [€] messen. Die Bestimmung der Nutzen gestaltet sich hingegen umständlicher. Aus diesem Grund erfolgt in Kapitel 6.4 die Beschreibung von Indikatoren und Metriken, mit deren Hilfe Nutzen bestimmt werden können, bevor in Kapitel 6.5 die Nutzen selbst beschrieben und den Indikatoren zugeordnet werden. Im letzten Unterkapitel 6.6 werden Gründe gegen BIM untersucht. Dieser Schritt dient als Abgleich, ob in den vorherigen Kapiteln alle relevanten Aufwände und Nutzen berücksichtigt wurden

6.2 Ableitung der Aufwände und Nutzen aus den AWF

6.2.1 BIM Uses des CIC

Kreider et al. (2010, S. 4) haben die in Kapitel 5.2.1 vorgestellten BIM Uses hinsichtlich der Verwendungshäufigkeit und des Nutzens mit Hilfe einer Umfrage genauer untersucht. Personen, die zwischen Oktober und Dezember 2009 den entwickelten BIM Project Execution Planning Guide heruntergela-

den hatten, wurden im Nachgang zur Teilnahme an einer Umfrage eingeladen. Etwas mehr als 1.000 Personen haben sich daran beteiligt und 175 Teilnehmer beantworteten die beiden folgenden (für diese Arbeit relevanten) Fragen (vgl. *Kreider et al.*, 2010, S. 3):

- Wie häufig nutzt Ihre Organisation den jeweiligen AWF?
  Antwortmöglichkeiten: 0 %, 5 %, 25 %, 50 %, 75 %, 95 %, 100 %
- Wie schätzen Sie den Nutzen des jeweiligen AWF für Ihre Organisation ein?
  Antwortmöglichkeiten: sehr negativ (-2), negativ (-1), neutral (0), positiv (+1), sehr positiv (+2)

Abbildung 54 zeigt die Ergebnisse zusammengefasst, sortiert nach der Auflistung der AWF gemäß Abbildung 46. Demnach wird der AWF „3D Kollisionsanalyse“ am häufigsten verwendet und hat zugleich den höchsten Nutzen. Am anderen Ende der Skala findet sich der AWF „Notfallplanung“ mit der geringsten Verwendungshäufigkeit und zugleich dem geringsten Nutzen.

Allerdings ist anzumerken, dass die theoretische minimale Nutzenbewertung -2 beträgt. Somit wird selbst der Nutzen des am schlechtesten bewerteten AWF mit 0,26 noch immer positiv bewertet. Kein AWF wird hinsichtlich seines Nutzens negativ bewertet. Zur detaillierteren Auswertung der Umfrageergebnisse wird auf *Kreider et al.* (2010) verwiesen.

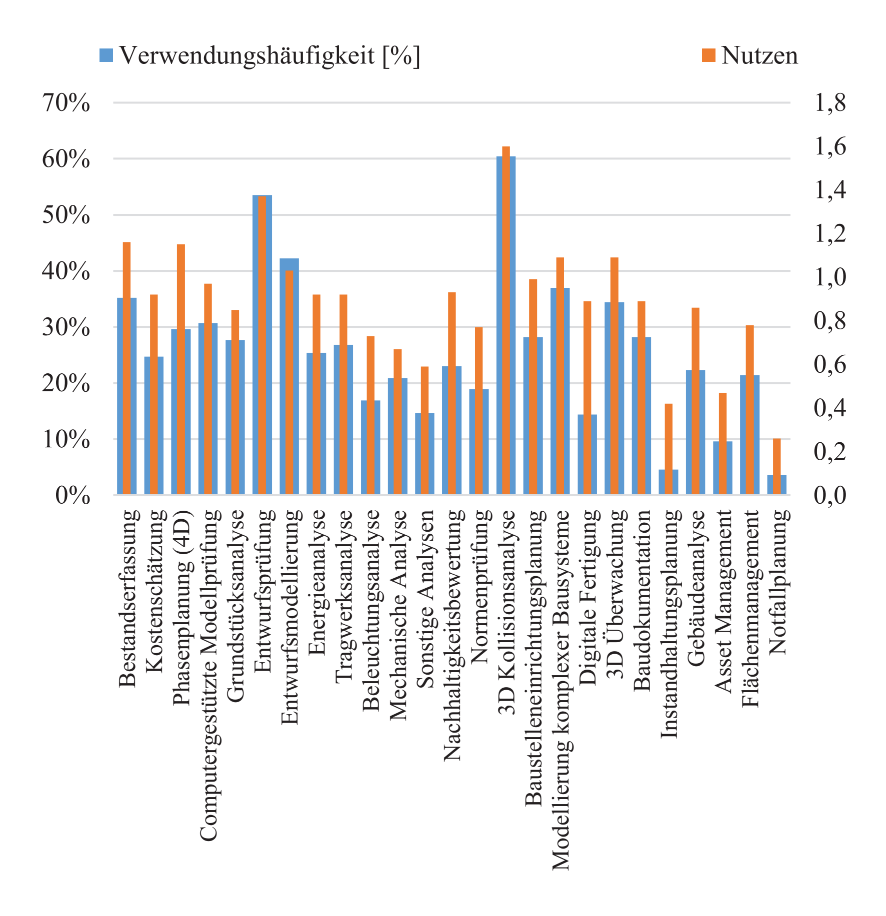


Abbildung 54: Verwendungshäufigkeit und Nutzen der AWF der Penn State basierend auf Untersuchungen von *Kreider et al.* (2010, S. 8)

In Kapitel 5.2.1 wurde erwähnt, dass das *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 49-71) für die AWF zusätzlich potentielle aus der Anwendung resultierende Nutzen sowie die für die Anwendung erforderlichen Ressourcen und Teamkompetenzen erarbeitet hat. Lediglich für die AWF „Beleuchtungsanalyse“, „mechanische Analyse“ und „sonstige Analysen“ wurden diese Schritte nicht unternommen.

Für die resultierenden 22 AWF werden insgesamt 130 Nutzen, 60 Ressourcen und 85 Teamkompetenzen beschrieben, wobei für den AWF „Kostenschätzung“ mit einer Anzahl von elf die meisten Nutzenarten und für den AWF „Asset Management“ mit einer Anzahl von neun die meisten benötigten Teamkompetenzen angegeben sind. Kein AWF benötigt mehr als vier Ressourcen.

Exemplarisch werden hier die Angaben für den AWF „Kostenschätzung“ vorgestellt (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 70):

Vier benötige Ressourcen:

- Modellierungssoftware
- Akkurat erstellte Planungsmodelle
- Modell- bzw. 5D-fähige Kalkulationssoftware
- Kostendaten

Drei benötige Teamkompetenzen:

- Fähigkeit, Modellierungsrichtlinen zu definieren, so dass genaue Mengenabfragen (QTO) möglich sind.
- Fähigkeit, die benötigten Mengen im Voraus (während der Modellierung) abzuschätzen.
- Fähigkeit, Modelle zu bearbeiten, um Mengen zu erhalten, die zur Kalkulation verwendet werden können.

Elf potentielle Nutzen:

- Präzise quantifizierte (ermittelte) Mengen.
- Schnelle Ermittlung der Mengen, um damit Entscheidungsprozesse zu unterstützen.
- Erstellung von mehr Kostenschätzungen in kürzerer Zeit.
- Die zu kalkulierenden Elemente sind besser visuell sichtbar.
- Kosteninformationen inkl. Änderungen können dem Bauherren transparent zur Verfügung gestellt werden.
- Einsparung von Arbeitszeit des Kalkulators, da Mengen mittels QTO-Formeln abgefragt werden.

- Kalkulator kann sich dadurch auf Aktivitäten mit höherer Wertschöpfung fokussieren und bspw. Risiken eher erkennen oder Alternativvorschläge erarbeiten.
- In Verbindung bzw. Verknüpfung mit einem 4D-Modell lassen sich Kostenverläufe grafisch über die Zeit darstellen.
- Verschiedene Varianten können einfacher analysiert und verglichen werden, um im Budget zu bleiben.
- Schnelle Kostenermittlung spezifischer Objekte/Bauteile.
- Höhere Genauigkeit künftiger Schätzungen durch visuelle Unterstützung.

Die Beschreibungen für die restlichen AWF des CIC finden sich in *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 49-71), wobei sämtliche Inhalte im Rahmen dieser Arbeit entsprechend aufgenommen und bei der Zuordnung der Nutzen zu den neuen AWF berücksichtigt werden. Die Ergebnisse für alle AWF zeigt Abbildung 55.

Während der vorgestellte AWF „Kostenschätzung" im Verhältnis zu den übrigen AWF gemäß Abbildung 54 nur eine mittlere Verwendungshäufigkeit und auch nur eine mittlere Nutzenbewertung erhalten hat, beschreibt das CIC gleichzeitig für diesen AWF jedoch die meisten Nutzenarten. Auf der anderen Seite sind für den, im Hinblick auf die in Abbildung 54 vorgenommen Bewertungen, vergleichbaren AWF „Computergestützte Modellprüfung" nur eine Nutzenart, zwei Ressourcen und eine Teamkompetenz beschrieben (vgl. Abbildung 55).

Somit kann festgehalten werden, dass die reine Anzahl der beschriebenen Nutzenarten, Ressourcen oder Teamkompetenzen keine verlässlichen Rückschlüsse auf potentielle mit dem jeweiligen AWF erzielbaren Nutzen oder Aufwände zulässt. Ergänzend dazu betonen *Franz* und *Messner* (2019), dass weniger die Anzahl der tatsächlich angewendeten AWF als die Art, wie diese ausgeführt und in das jeweilige Projekt implementiert werden, von Bedeutung ist.

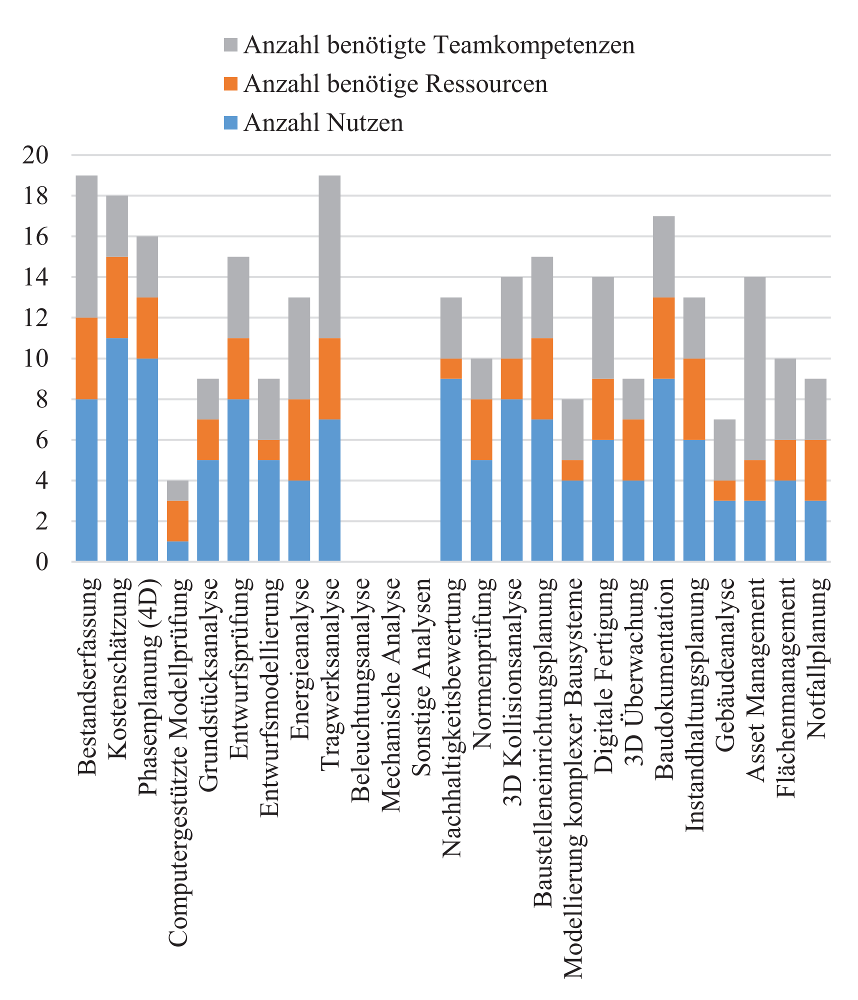


Abbildung 55: Untersuchung der AWF der Penn State hinsichtlich Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit

Darüber hinaus ist anzumerken, dass die beschriebenen Nutzenarten, benötigten Ressourcen und Teamkompetenzen für einige AWF kritisch zu betrachten sind. So wird bspw. für den AWF „Entwurfsprüfung“ als Ressource das Vorhandensein von leistungsfähiger Hardware genannt, die dazu in der

Lage ist, große Modelldateien zu verarbeiten (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 66), während diese Hardware bei der Erstellung von Entwürfen (AWF Entwurfsmodellierung“) nicht explizit erwähnt wird.

Das CIC liefert keine Informationen darüber, wie die Nutzen, Ressourcen und Kompetenzen konkret ermittelt oder in welcher Weise sie ggfs. gewichtet werden können. In der Praxis ist davon auszugehen, dass Nutzen, Ressourcen und Kompetenzen unterschiedlich zu gewichten sind.

6.2.2 Enabler nach Sanchez

Auch *Sanchez et al.* (2016) haben sich mit der Frage des möglichen Nutzens der einzelnen AWF auseinandergesetzt, wobei der Fokus auf der tatsächlichen Bestimmung des Nutzens liegt. Dazu haben sie auf Basis einer Literatur- und Projektrecherche, ergänzt um ihre eigenen Erfahrungen, neben der bereits vorgestellten Sammlung und Beschreibung an AWF folgendes ermittelt und untereinander zugeordnet (vgl. *Sanchez et al.*, 2016 und *Australian Sustainable Built Environment National Research Centre*, 2015):

- 31 Nutzen („Benefits“)
- 43 Metriken („Metrics“)
- 108 Messindikatoren („Indicators“)
- 9 Projektrollen („Beneficiaries“)
- 6 Projektphasen („Life-Cycle“)

Online und auf Basis von *Sanchez et al.* (2016) ist daraus ein dynamisches Auswahltool entstanden, das in sechs Schritten gemäß Abbildung 56 eine Hilfestellung bietet, wie einzelne Nutzen von BIM ermittelt werden können. Die Darstellung legt den Fokus auf die Erklärung der sechs Schritte und zeigt die einzelnen Inhalte nur auszugsweise. Bei jedem Schritt gibt es in Abhängigkeit der Auswahl in den vorherigen Schritten eine unterschiedliche Anzahl an Auswahlmöglichkeiten. Im Rahmen der Recherche für die vorliegende Arbeit konnte kein vergleichbares Tool ermittelt werden. Die Arbeiten von *Sanchez et al.* (2016) liefern damit eine sehr gute Grundlage, um sich der Frage nach der Wirtschaftlichkeit einzelner AWF und damit von BIM im Gesamten

zu nähern. Insbesondere ist hier die Erarbeitung der Metriken zu nennen. Damit werden Hilfestellungen gegeben, wie einzelne Nutzen konkret erfasst und quantifiziert werden können. Allerdings sind zum einen einige Entscheidungen bzw. Zuordnungen kritisch zu hinterfragen[1], zum anderen wird der Aufwand in keiner Weise betrachtet. Daher erfolgt an dieser Stelle eine systematische Auswertung der Arbeiten von *Sanchez et al.* (2016), um neue Erkenntnisse in Form eines Gesamtüberblicks zu erhalten und um darauf aufbauend in den weiteren Kapiteln die Ergebnisse zusammenzuführen. Mit Hilfe mehrerer Excel-Tabellen wurden sämtliche Nutzen, AWF, Metriken und die Angaben zu den beteiligten Projektrollen und -phasen erfasst und im Hinblick auf einzelne Relevanzen ausgewertet.

[1] Beispielsweise ordnen *Sanchez et al.* (2016) zutreffender Weise dem AWF „Bauablaufplanung (4D-Modellierung)“ den Nutzen „bessere Terminplanung“ zu. Gleichzeitig findet sich dieser Nutzen jedoch auch beim AWF „Bauwerksplanung (3D-Modellierung)“. Diese Zuordnung ergibt keinen Sinn, da die Terminplanung erst durch Ergänzung der zeitlichen Informationen (4D) an die 3D-Objekte verbessert wird und nicht alleine durch eine dreidimensionale Planung.



Abbildung 56: Dynamisches Auswahltool „BIM Value" basierend auf Australian Sustainable Built Environment National Research Centre (2015)

Zunächst wird untersucht, welche AWF den meisten Nutzenarten zugeordnet sind. Der maximal mögliche Wert ergibt sich, wenn ein AWF allen 31 identifizierten Nutzen in allen sechs Projektphasen zugeordnet ist. Er beträgt damit 31 x 6 = 186. Der minimale Wert beträgt 0 und der minimal relevante Wert 1 (wenn ein AWF nur einem Nutzen in einer Projektphase zugeordnet ist). Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse differenziert nach den einzelnen AWF und farblich unterschieden im Hinblick auf die einzelnen Projektphasen. Den mit Abstand höchsten Wert (79 von 186 bzw. 42,5 %) erreicht der AWF „Parametrische und datenreiche Modellobjekte". Auf Platz zwei folgt die Zusammensetzung der Modellobjekte in Form des AWF „Bauwerksplanung (3D-Modellierung)" mit einem Wert von 52 bzw. 28,0 %. Im Durchschnitt über alle AWF ist jeder einzelne mit einem Wert von 18,2 und damit 9,8 %

an den Nutzen in allen Projektphasen beteiligt. Übertragen auf die Verwendung in der Praxis bedeutet das Ergebnis, dass mit der Anwendung des AWF „Parametrische und datenreiche Modellobjekte“ die meisten Nutzen erzielt werden können. Die Frage nach der tatsächlichen Höhe der Nutzen wird in Kapitel 6.4 betrachtet.

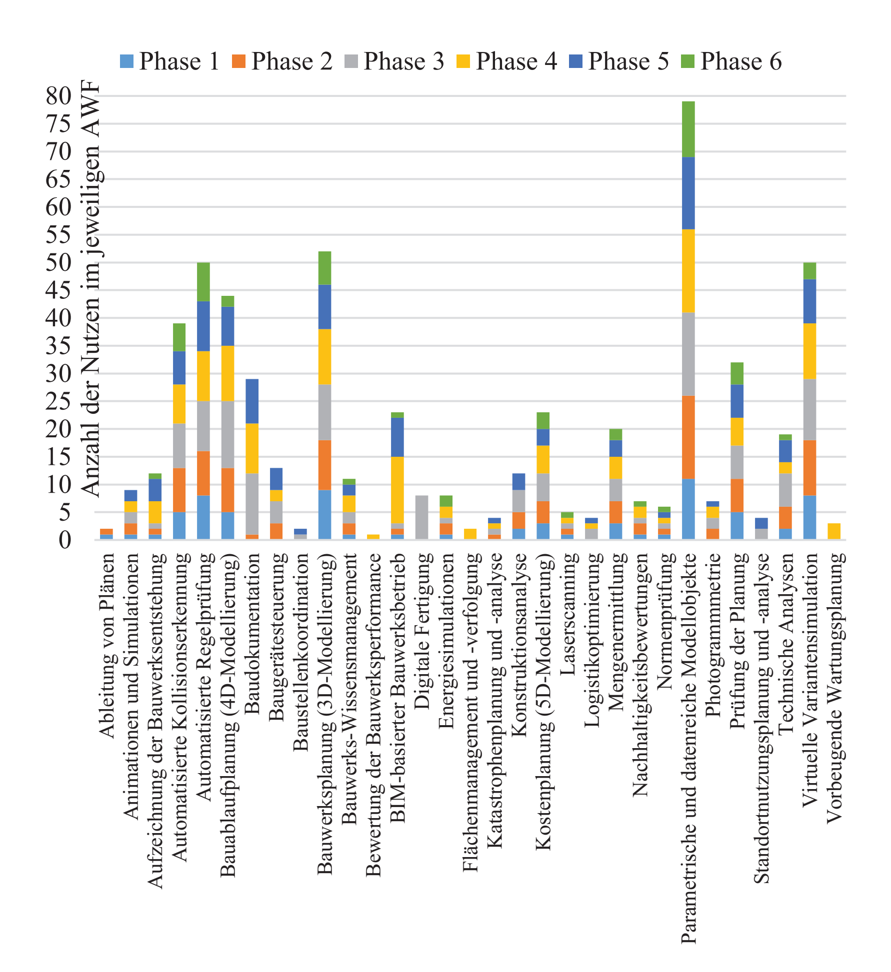


Abbildung 57: Auswertung der AWF von Sanchez nach Anzahl der Nutzen in den einzelnen Projektphasen

Für den Anwender ist jedoch vermutlich weniger die Frage nach dem Nutzen der AWF relevant, sondern ihn interessiert viel mehr, welche AWF benötigt werden, um bestimmte Nutzen zu erzielen. Daher erfolgt die Auswertung der Abhängigkeiten aus dieser Blickrichtung, um herauszufinden, welchen Nutzen die meisten AWF zugeordnet sind. Bei den von *Sanchez et al.* (2016, S. 103-204) beschrieben Nutzen von BIM handelt es sich um:

- Bessere Alternativanalyse
- Bessere Daten-/Informationserfassung
- Bessere Kostenberechnung
- Bessere Ressourcenverwendung
- Bessere Terminplanung
- Bessere Wissensnutzung der Lieferkette
- Besseres Änderungsmanagement
- Besseres Flächenmanagement
- Effizienteres Notfallmanagement
- Genauere Mengenermittlung
- Geringere Kosten
- Gesteigerte Wettbewerbsvorteile
- Höhere Kundenzufriedenheit
- Höhere Prozessautomatisierung
- Optimierung der Bauabläufe
- Personaleinsparung im Asset Management
- Reduziertes Risiko
- Schnellere Einhaltung von Anforderungen/Prüfung von Regeln
- Verbesserte Effizienz
- Verbesserte Kommunikation
- Verbesserte Koordination
- Verbesserte Lernkurve
- Verbesserte Output-Qualität
- Verbesserte Produktivität
- Verbesserte Qualitäts- und Prozessdokumentation
- Verbesserte Sicherheit
- Verbesserter Informationsaustausch
- Verbessertes Daten- und Informationsmanagement

- Verkürzte Ausführungszeiten
- Weniger Fehler
- Weniger Nacharbeit

Auch in diesem Fall kann der maximale Wert 186 betragen, wenn jedem Nutzen alle 31 AWF in allen sechs Phasen zugeordnet sind. Abbildung 58 zeigt die Ergebnisse differenziert nach den einzelnen Nutzen und Projektphasen. Den mit Abstand höchsten Wert (49 von 186 bzw. 26,3 %) erreicht der Nutzen „Geringere Kosten“. Auf Platz zwei folgt der Nutzen „Reduziertes Risiko“ mit einem Wert von 39 bzw. 21,0 %. Übertragen auf die Verwendung in der Praxis bedeutet das Ergebnis, dass aus der Anwendung der meisten AWF der Nutzen „Geringere Kosten“ resultiert.

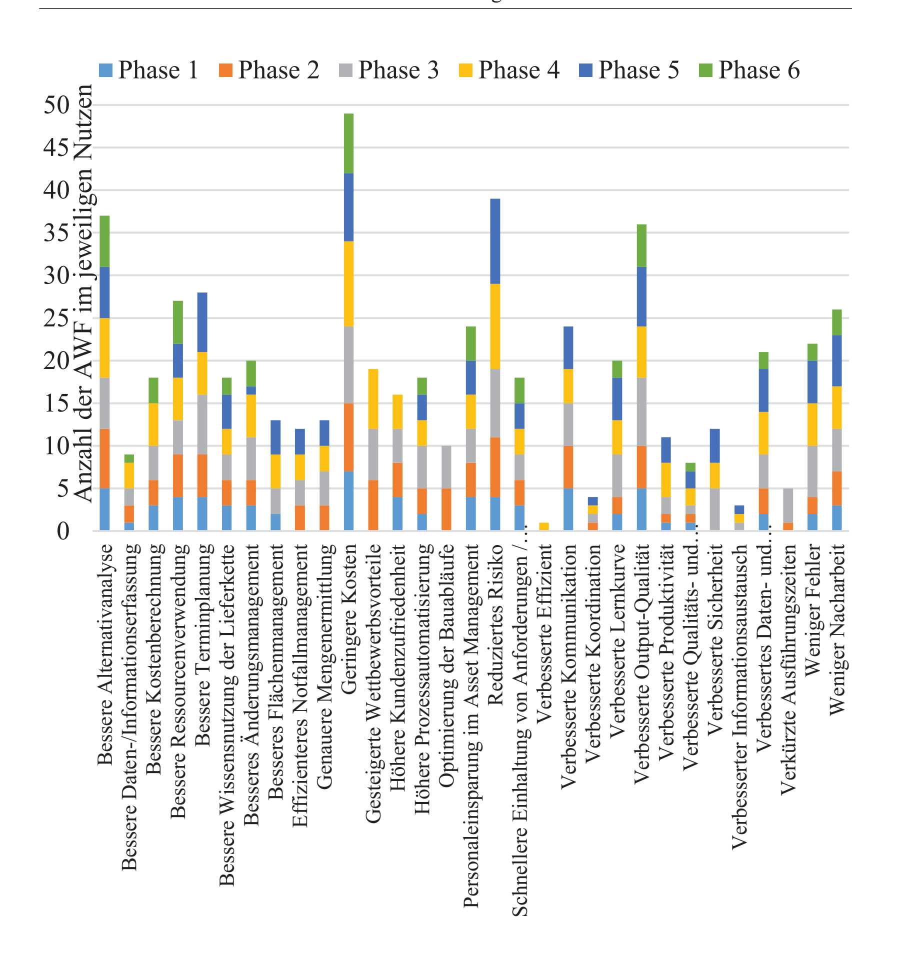


Abbildung 58: Auswertung der Nutzen von Sanchez nach Anzahl der AWF in den einzelnen Projektphasen

6.2.3 Anwendungsfälle der BIM4Infra

Die *BIM4Infra2020* (2018, S. 6) hat im vierten Quartal 2017 „30 deutsche Experten mit BIM-Erfahrung auf Auftraggeber- und Auftragnehmerseite" befragt und die von ihr erarbeiteten AWF hinsichtlich Aufwand und Nutzen

einschätzen lassen. Dabei erfolgte eine Differenzierung des Aufwands in den Implementierungs- und den Projektaufwand für Auftraggeber und Auftragnehmer sowie den Nutzen für den Auftraggeber gegenüber der jetzigen Arbeitsweise. Unklar bleibt, was genau unter der jetzigen Arbeitsweise zu verstehen ist. Es wird angenommen, dass es sich um eine Arbeitsweise ohne BIM handelt. In wie weit bspw. bereits die Verwendung von CAD-Daten fortgeschritten ist oder ob eine Planung nur zweidimensional in Papierform erfolgt, wird nicht angegeben. Sicherlich wäre hier die Differenzierung in unterschiedliche Reifegrade zur Präzisierung hilfreich.

Die Entscheidung für die Expertenbefragung wird damit begründet, dass „zum heutigen Zeitpunkt keine belastbaren statistischen Erkenntnisse über die Vorteile von BIM, insbesondere unabhängig von einzelnen, projektspezifischen Randbedingungen, vorliegen“ (*BIM4Infra2020*, 2018, S. 6).

Sowohl die beiden Aufwandsarten als auch der Nutzen werden in vier abgestufte Wertebereiche von 0 bis 3 differenziert. Dabei bedeutet:

- 0: Kein zusätzlicher Aufwand/kein erkennbarer Mehrwert
- 1: Leicht erhöhter Aufwand/leicht erhöhter Mehrwert
- 2: Erhöhter Aufwand/erhöhter Mehrwert
- 3: Signifikant erhöhter Aufwand/signifikant erhöhter Mehrwert

In der abschließenden Auswertung werden der Implementierungs- und der Projektaufwand im Verhältnis 70 zu 30 zusammengefasst zu einem Gesamtaufwand für den jeweiligen AWF. Die Entscheidung dafür wird damit begründet, dass in der aktuellen Anlaufphase die Entwicklung bzw. Verwendung von BIM noch nicht weit fortgeschritten sei und daher für die kommenden Jahre zunächst von einem erhöhten Implementierungsaufwand auszugehen sei (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 6). Dieser Ansatz ist nachvollziehbar, wobei die genaue Einteilung auch in einem anderen Verhältnis eingeschätzt werden kann.

Zudem beschreibt die *BIM4Infra2020* (2018, S. 13), dass sich die Bewertung des Projektaufwands auf das Jahr 2020 bezieht. Wie die Berechnung auf dieses Jahr erfolgt, wird nicht angegeben. Unklar bleibt auch, ob dazu eine Erhöhung oder Verminderung des Projektaufwands erfolgt. Beispielsweise

wäre vorstellbar, dass der Aufwand für einzelne AWF im Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2018 geringer ausfällt, da sich die BIM-bezogene Ausbildung verbessert hat, dadurch erfahrenere Mitarbeiter eingestellt werden können, wodurch Schulungskosten reduziert werden könnten. Die absoluten Zahlen sind daher kritisch zu betrachten. Tabelle 23 zeigt die zusammengefassten Bewertungen der Experten.

Tabelle 23: Aufwand und Nutzen der AWF gemäß *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)

Nr.	AWF-Bezeichnung	Imple.-Aufwand	Projektaufwand	Nutzen für AG
1	Bestandserfassung	1,7	1,1	2,5
2	Planungsvariantenuntersuchung	1,7	0,9	2,3
3	Visualisierungen	1,0	0,7	2,5
4	Bemessung und Nachweisführung	2,5	1,4	1,9
5	Koordination der Fachgewerke	1,5	0,8	2,6
6	Fortschrittskontrolle der Planung	1,8	0,7	2,0
7	Erstellung von Entwurfs-/Genehmigungsplänen	1,8	0,8	2,3
8	Arbeits- und Gesundheitsschutz	1,8	1,3	1,7
9	Planungsfreigabe	2,0	0,8	2,1
10	Kostenschätzung und Kostenberechnung	1,9	0,6	2,5
11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	2,1	0,9	2,6
12	Terminplanung der Ausführung	1,8	0,9	2,3
13	Logistikplanung	2,0	1,3	1,8

Nr.	AWF-Bezeichnung	Imple.-Aufwand	Projektaufwand	Nutzen für AG
14	Erstellung von Ausführungsplänen	1,8	1,0	2,2
15	Baufortschrittskontrolle	1,9	0,8	2,1
16	Änderungsmanagement bei Planungsänderungen	1,8	0,9	2,3
17	Abrechnung von Bauleistungen	2,2	1,0	2,2
18	Mängelmanagement	1,6	0,9	2,4
19	Bauwerksdokumentation	2,3	1,5	2,6
20	Nutzung für Betrieb und Erhaltung	2,4	1,3	2,7

Mit Hilfe von Formel 11 aus dieser Arbeit kann das Nutzen-Aufwand-Verhältnis der AWF berechnet werden. In einer ähnlichen Form verwendet diesen Ansatz die *BIM4Infra2020* (2018), allerdings mit der erläuterten differenzierten Bewertung von Implementierungs- und Projektaufwand. So ergibt sich beispielweise für AWF Nr. 1 „Bestandserfassung" gemäß *BIM4Infra2020* (2018, S. 13 f.) ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis von:

$$\frac{2{,}5}{0{,}7x\ 1{,}7 + 0{,}3\ x\ 1{,}1} = 1{,}67$$

Berechnung des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses gemäß *BIM4Infra2020* (2018, S. 13 f.)

Würden Implementierungsaufwand und Projektaufwand hingegen im Verhältnis 50 zu 50 berechnet werden, ergäbe sich ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis von 1,79. Unter der Annahme, dass BIM in Zukunft flächendeckend Einzug gefunden hat, die Unternehmen über die notwendigen Kompetenzen verfügen und nur noch der Projektaufwand anfiele, so ergäbe sich ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis von 2,5/1,1 = 2,27.

Aus diesem Grund erfolgt eine Sensitivitätsanalyse. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 59. Dort ist für jeden AWF angegeben, welchen Rang (im Sinne des höchsten Nutzen-Aufwand-Verhältnisses) er belegt. Der Rang beim Verhältnis 70 zu 30 ergibt sich aus dem gezeigten Berechnungsansatz. Beim Rang 50 zu 50 werden beide Aufwandsarten in gleichem Maße berücksichtigt. Beim Rang 0 zu 100 wird der Nutzen nur durch den Projektaufwand dividiert und der Implementierungsaufwand somit nicht mehr berücksichtigt.

Während AWF Nr. 3 beim Rang 70 zu 30 und 50 zu 50 jeweils den 1. Platz belegt, verschlechtert sich sein Nutzen-Aufwand-Verhältnis bei der Vernachlässigung des Implementierungsaufwands, sodass er nur noch den 2. Platz belegt. AWF Nr. 10 hingegen erreicht bei dieser Annahme den 1. Platz, obwohl er zuvor nur Rang 4 bzw. Rang 3 belegt. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Bewertung und Berücksichtigung von Implementierungs- und Projektaufwand verständlicherweise einen hohen Einfluss auf die Bewertung des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses besitzen.

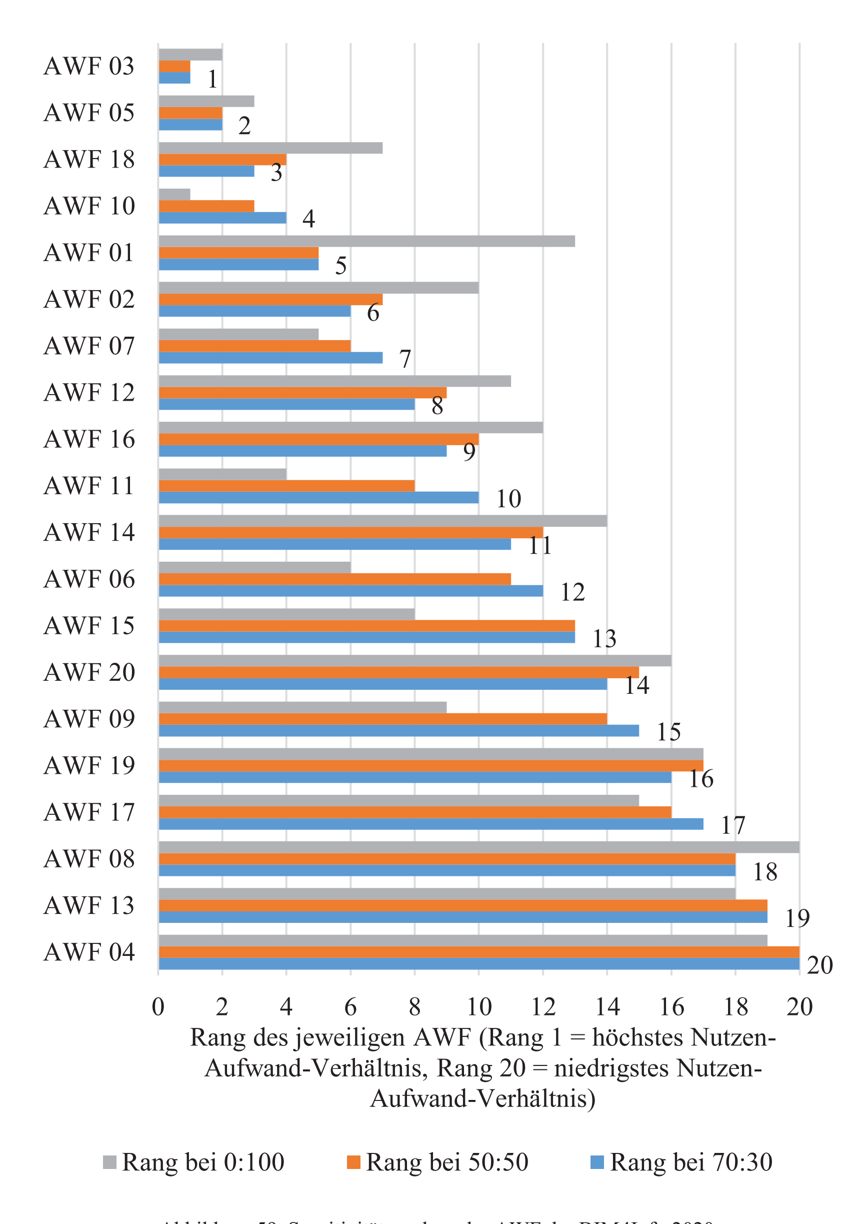


Abbildung 59: Sensitivitätsanalyse der AWF der BIM4Infra2020

Unabhängig davon liefert die *BIM4Infra2020* (2018, S. 15) einen weiteren interessanten Ansatz. Sie ordnet die AWF in Abhängigkeit ihres jeweiligen Nutzen-Aufwand-Verhältnisses in drei unterschiedlichen Szenarien ein. Beträgt das Nutzen-Aufwand-Verhältnis mindestens 1,5 erfolgt die Einteilung in das Szenario „Einstieg", beträgt es mindestens 1,2 und weniger als 1,5 wird der AWF dem Szenario „Aufbruch" zugeordnet und Werte die kleiner sind als 1,2 fallen in das Szenario „Höchstleistung". Im Umkehrschluss bedeutet diese Differenzierung, dass potentielle Anwender eine Empfehlung erhalten, dass sie zunächst AWF mit großem Nutzen-Aufwand-Verhältnis zum Einstieg verwenden sollten, ehe sie AWF der Szenarien „Aufbruch" oder „Höchstleistung" anwenden, da dort der Wert und somit der realisierbare Nutzen im Verhältnis zum Aufwand immer weiter sinkt. Abbildung 60 zeigt abschließend die einzelnen AWF gemäß der Einschätzungen aus den Experteninterviews der *BIM4Infra2020* (2018).

Die gestrichelt dargestellte Winkelhalbierende gibt Auskunft darüber, ob das Nutzen-Aufwand-Verhältnis größer oder kleiner als 1,0 ist und somit ob der Nutzen den Aufwand übersteigt oder nicht. Beispielsweise fällt demnach der Nutzen von AWF 4 (Bemessung und Nachweisführung) kleiner aus als der Aufwand. Dieser Umstand hängt allerdings auch damit zusammen, dass AWF 4 mit einem Wert von 2,5 den höchsten Implementierungsaufwand erhalten hat und der Implementierungsaufwand 70 % des Gesamtaufwands ausmacht.

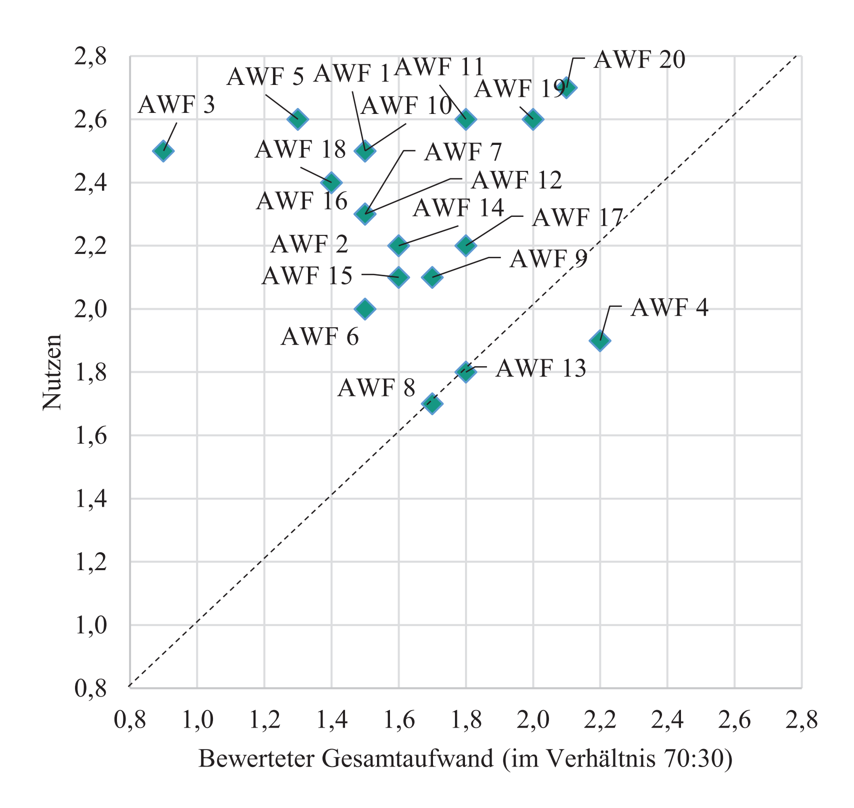


Abbildung 60: Nutzen-Aufwand-Diagramm der AWF in Anlehnung an *BIM4Infra2020* (2018, S. 15)

Durch die kurz vor Abschluss der vorliegenden Arbeit veröffentlichten ergänzenden Steckbriefe von *Borrmann et al.* (2019) wird es möglich, weitere Erkenntnisse über die von BIM4Infra definierten AWF zu erhalten. Beispielsweise nennen *Borrmann et al.* (2019, S. 26) für den AWF Nr. 12 „Terminplanung der Ausführung" die folgenden vier Nutzenarten:

- „Lückenloser Terminplan durch automatische Aufdeckung enthaltener Unregelmäßigkeiten während der Verknüpfung von Modellelementen und Terminplan"
- „Erhöhte Terminsicherheit durch vereinfachte Kommunikation innerhalb bearbeitender Projektteams"

- „Akzeptanzsteigerung von Projekten von öffentlichem Interesse durch Visualisierung der Maßnahme und verbesserte Kommunikation“
- „Validierung der Machbarkeit gemäß Terminplanung, unter anderem anhand des visualisierten Bauablaufs“

sowie die folgenden drei Implementierungsvoraussetzungen:

- Auftraggeber: „Einführung von Software zur Visualisierung und Auswertung von 4D-Modellen inkl. entsprechender Schulungen“
- Auftragnehmer: „Aneignung von Kenntnissen und Techniken zur BIM-konformen Terminplanerstellung und -verknüpfung mit dem Modell“
- Auftragnehmer: „Einführung geeigneter Softwareprodukte inkl. entsprechender Schulungen“.

In Summe existieren für diesen AWF folglich vier Nutzenarten und drei Implementierungsvoraussetzungen, wobei zwei davon dem Auftragnehmer (AN-Voraus.) und eine dem Auftraggeber (AG-Voraus.) zugeordnet wird. Mit Hilfe der von *Borrmann et al.* (2019, S. 10-39) erarbeiteten Nutzenarten und Implementierungsvoraussetzungen können die AWF analog zu Kapitel 6.2.1 vergleichend ausgewertet werden. Abbildung 61 zeigt die Ergebnisse. Es fällt auf, dass für die AWF 03, 04, 13 und 20 keine auftraggeberseitigen Implementierungsvoraussetzungen beschrieben sind, ergänzend für AWF Nr. 20 auch keine AN-Voraussetzungen, was bei kritischer Betrachtung zumindest als fragwürdig angesehen werden kann.

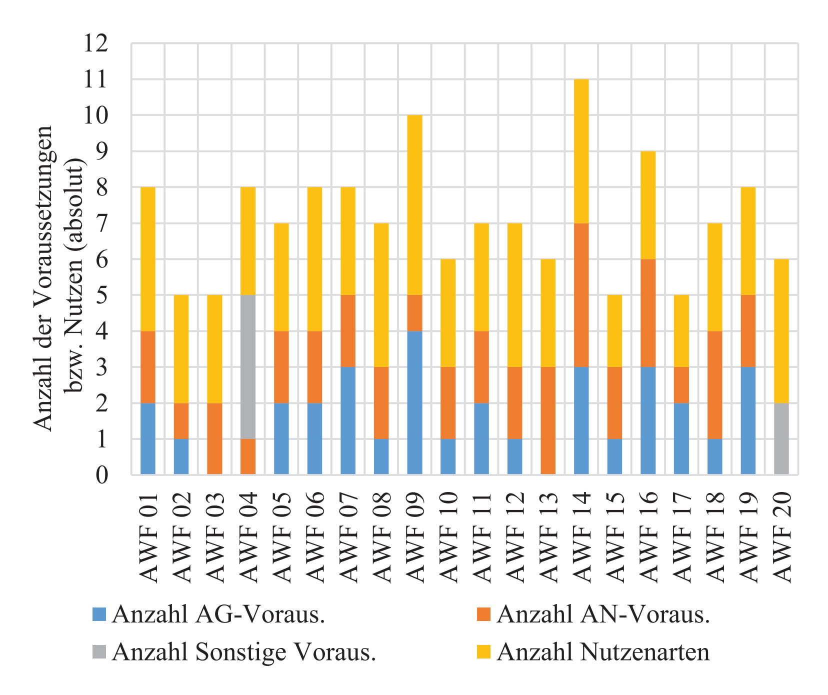


Abbildung 61: Anzahl der Implementierungsvoraussetzungen und Nutzen der AWF auf Basis der Untersuchungen von *Borrmann et al.* (2019)

AWF Nr. 20 bildet gemeinsam mit AWF Nr. 4 eine weitere Besonderheit. Für diese beiden AWF werden zusätzlich Implementierungsvoraussetzungen seitens der Software-Anbieter und Prüfer bzw. des Betreibers und Software-Entwicklers angegeben. So ist es für AWF Nr. 4 notwendig, dass die Software-Anbieter die Softwareprodukte zur Erstellung der Berechnungsmodelle weiterentwickeln und den Datenaustausch zwischen Konstruktions- und Berechnungssoftware verbessern, sowie dass die Prüfer ihre aktuellen Prozesse umstellen und ggfs. bestehende Regularien, die sich auf 2D-Planungen beziehen, neu formulieren (vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 15).

Auch bei AWF Nr. 20 ist es nach *Borrmann et al.* (2019, S. 39) zur Implementierung notwendig, dass die Software-Anbieter Software-Systeme zum BIM-gestützten Erhaltungsmanagement entwickeln und dass die Betreiber

entsprechende Schulungen zur Einrichtung und Anwendung dieser neuen Softwareprodukte entwickeln und absolvieren.

Unklar bleibt, ob diese spezifischen Implementierungsvoraussetzungen nur für AWF 4 und 20 erarbeitet wurden oder ob sie nur für diese beiden AWF bestehen und bei den übrigen AWF keine Software-Systeme entwickelt werden müssen.[2] Ein wesentlicher und klärungsbedürftiger Punkt bei der Implementierung von AWF bildet somit die Eingangsfrage nach der Verfügbarkeit geeigneter Software. Beispielsweise nennen *Borrmann et al.* (2019, S. 14) für AWF Nr. 3 die AN-Implementierungsvoraussetzung „ggf. Anschaffung von Spezialsoftware für fotorealistische Visualisierungen". Da keine weiteren Voraussetzungen für Software-Anbieter angegeben werden, kann an dieser Stelle davon ausgegangen werden, dass für diesen AWF geeignete Software grundsätzlich verfügbar ist und der AN sie lediglich beschaffen muss. In Summe ist das Vorhandensein oder die Entwicklung geeigneter Software bei 10 von 20 AWF notwendige Implementierungsvoraussetzung.

Die tatsächliche Ausgangssituation muss projekt- oder unternehmensindividuell bewertet werden. Der für jeden AWF von der *BIM4Infra2020* (2018) bzw. *Borrmann et al.* (2019) angegebene Implementierungsaufwand bzw. die Implementierungsvoraussetzungen können nicht als allgemeingültig betrachtet werden (vgl. hierzu auch *Borrmann et al.*, 2019, S. 4 f.).

Daraus ergibt sich, dass das realisierbare Nutzen-Aufwand-Verhältnis stets projekt- oder unternehmensindividuell ist und nicht allgemeingültig erarbeitet werden kann.

6.2.4 Katalog der BIM-Anwendungsfälle

Weitere Erkenntnisse zum Nutzen von AWF konnten im Rahmen der Erstellung des Katalogs der BIM-Anwendungsfälle bzw. der vorbereitenden Umfrage gewonnen werden (vgl. Kapitel 5.2.5). Neben der Abfrage, ob der jeweilige Umfrageteilnehmer an den einzelnen AWF beteiligt ist oder nicht,

[2] Es ist davon auszugehen, dass auch für die übrigen AWF entsprechende Software-Systeme entwickelt bzw. weiterentwickelt werden müssen.

wurde um eine Einschätzung gebeten, wie die Bedeutung des jeweiligen AWF für die Erreichung der Projektziele gesehen wird. Die Projektziele wurden nicht näher definiert, so dass anzumerken ist, dass je nach persönlicher Auslegung der Umfrageteilnehmer an dieser Stelle unterschiedliche Einschätzungen getroffen werden konnten. Die vier Auswahlmöglichkeiten waren:

- -- (entspricht dem Wert 0,00)
- - (entspricht dem Wert 0,33)
- + (entspricht dem Wert 0,66)
- ++ (entspricht dem Wert 1,00)

Es wurde bewusst und im Gegensatz zu *Kreider et al.* (2010) auf eine neutrale Auswahlmöglichkeit verzichtet, so dass bei Unsicherheit eine klare Entscheidung hin zu einer geringen (-) oder einer hohen (+) Bedeutung getroffen werden musste. Abbildung 62 zeigt die 25 AWF mit der höchsten Bedeutung. Mit einem Wert von 0,896 liegt der AWF „Modellbasierte geometrische und parametrische Modellierung“ auf Platz 1.

Mit Hilfe der Umfrageergebnisse können keine konkreten Nutzen oder Aufwände identifiziert werden, dennoch hilft die Einordnung bei der Priorisierung von AWF.

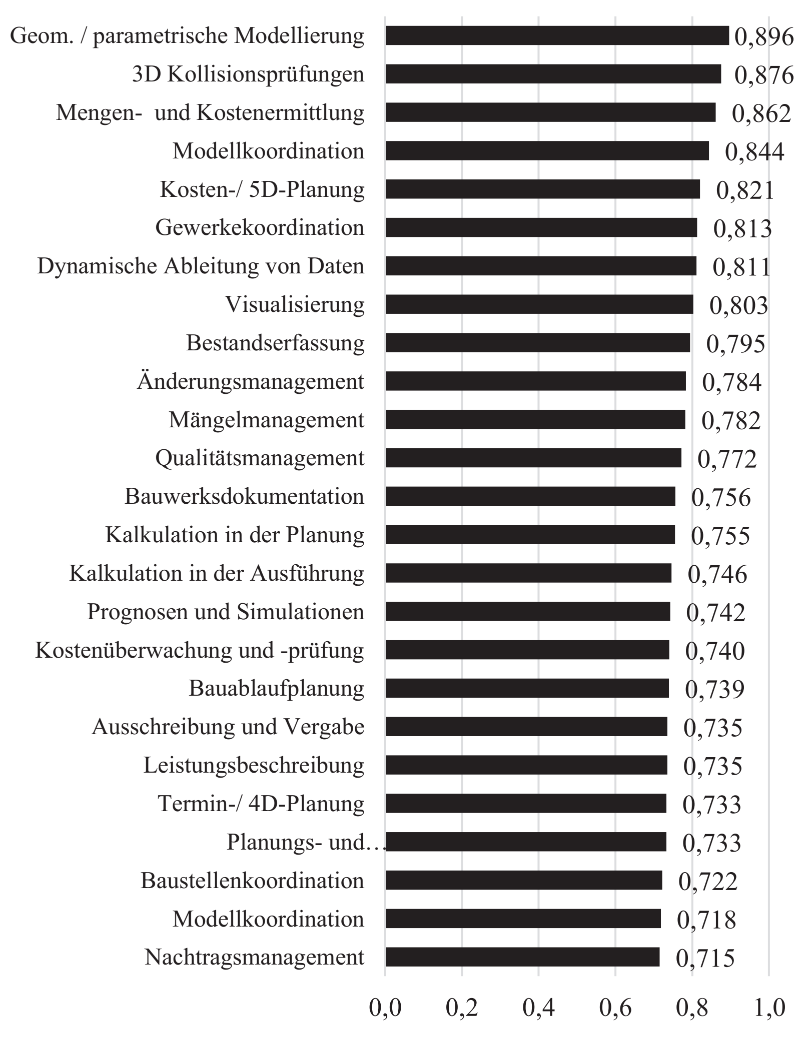


Abbildung 62: Bedeutung der AWF für die Erreichung der Projektziele

6.3 Beschreibung der Aufwände für BIM

Die Ergebnisse aus den Kapiteln 3.3 und 6.2 liefern Einschätzungen über Aufwände, die im Zusammenhang mit BIM bzw. AWF entstehen. Unbeantwortet ist bisher jedoch die Frage, um was es sich bei den Aufwänden konkret handelt und ob es Aufwände gibt, die bisher ggfs. nicht berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund setzt sich Kapitel 6.3 mit der Identifikation und Beschreibung der Aufwände für BIM auseinander.

Im Zusammenhang mit der Einführung von IT-Projekten gibt es verschiedene Verfahren, um den Aufwand genauer zu ermitteln. Zu den am weitesten verbreiteten Verfahren zählen (vgl. *Wieczorrek* und *Mertens*, 2011, S. 264):

- Function-Point-Verfahren
- Object-Point-Verfahren
- Constructive-Cost-Model (COCOMO)
- SHELL-Verfahren

Zur Beschreibung der Verfahren wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen; denn während die Verfahren gut zur Aufwandsbestimmung bei IT-Projekten verwendet werden können, liefern sie im Zusammenhang mit der Implementierung und Anwendung von BIM oder einzelner AWF leider keine Ergebnisse, da sie im Wesentlichen den Programmieraufwand ermitteln. Gleichzeitig wird dadurch die Abgrenzung von BIM zu einem IT-Projekt im informationstechnischen Sinne deutlich. Bei BIM geht es um die Einführung bestehender Softwareprodukte und die Anpassung von bestehenden Geschäftsprozessen. Nur bei Bedarf werden ggfs. eigenständige Programmierarbeiten notwendig, die i.d.R. von externen Dienstleistern erbracht werden. Daher muss zunächst auf theoretischer Ebene analysiert werden, welche Aufwände bei der Einführung und Anwendung von BIM und einzelner AWF entstehen.

Die Komplexität dieser Zusammenhänge zeigt sich jedoch bereits an der einfachen Frage, ob bspw. Software zur Erstellung der 3D-Modelle gekauft oder gemietet werden soll. So gibt *Allplan Schweiz AG* (2019) als Kosten für die Modellierungssoftware Allplan Architecture 2019 monatliche Lizenzkosten bei einem 36-monatigen Abonnement in Höhe von umgerechnet 271 € brutto

pro Lizenz an und bietet alternativ den Kauf für 6.864 € brutto pro Lizenz an. Bereits nach 26 Monaten hätte sich der Kauf amortisiert[3] (6.864 €/271 €/Monat = 25,3 Monate). Die Anschlussfrage lautet, wie lange die entsprechende Softwareversion sinnvoll eingesetzt werden muss und wann ein Update auf eine neuere Version notwendig wird. Erleichternd – zumindest im Hinblick auf die Entscheidung, da keine Wahlmöglichkeit mehr besteht – kommt in diesem Zusammenhang hinzu, dass die meisten Anbieter ihre Softwareprodukte auf Mietmodelle umstellen und die Software nicht mehr zum Kauf anbieten. I.d.R. ist bei diesen Mietmodellen die Aktualisierung auf neuere Versionen beinhaltet. So bietet *Autodesk* (2019) seine Modellierungssoftware Revit mit sofortigem Zugriff auf neuere Versionen oder Verbesserungen bei einmonatiger Vertragslaufzeit für 375 € brutto pro Lizenz oder bei dreijähriger Vertragslaufzeit für 8.080 € brutto pro Lizenz (entspricht 224 € pro Monat und Lizenz) zur Miete an. Deutlich höher fallen die Kosten für die Kalkulationssoftware iTWO des Softwareherstellers RIB aus. Nachdem die Deutsche Bahn 2016 diese Software eingeführt hat, um künftig die Anforderungen des Stufenplans des BMVI umsetzen zu können, sind auch deren externe Planungsbüros auf die Software angewiesen und müssen die Lizenzen in Form von Mietlizenzen erwerben (vgl. *RIB Software SE*, 2019). Die monatlichen Kosten für das iTWO Deutsche Bahn Paket inkl. 5D Option betragen 708 € pro Lizenz (vgl. *RIB Software SE*, 2019). Hinzu kommt die erforderliche Hardware. *Allplan Handelsvertretung Stuttgart* (2019) empfiehlt bspw. eine entsprechende Desktop-Workstation von HP, deren Anschaffungskosten 3.195 € brutto betragen (vgl. *HP Deutschland GmbH*, 2019). Ergänzende Peripherieumgebung (Monitor, Maus, Tastatur, ggfs. VR-Brille etc.) ist hier noch nicht berücksichtigt. Das Gedankenmodell kann in die Anwendung überführt werden, bei der bspw. einkalkuliert werden muss, dass das 750W-Netzteil der Workstation (vgl. *HP Deutschland GmbH*, 2019) bei einer angenommenen täglichen Laufzeit von 10h, 20 Arbeitstagen pro Monat und einem Strompreis von 0,25 €/kWh monatliche Gesamtstromkosten in Höhe von 37,50 € verursacht.

[3] Zinseffekte werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Generell wurde auf der Aufwandseite in Kapitel 2.5.3 bereits in den Implementierungs- und den Anwendungsaufwand differenziert. *Wieczorrek* und *Mertens* (2011, S. 277) sprechen in diesem Zusammenhang von den Investitionen (einmalige Projektdurchführungskosten) und den Betriebs- und Wartungskosten (wiederkehrend). Das vorherige Beispiel verdeutlicht, dass eine pauschale Zuordnung bestimmter Kosten zum Implementierungs- oder Anwendungsaufwand häufig nicht möglich ist. Während der Kauf der Software zu den Implementierungsaufwänden zählt, müssten die monatlichen Lizenzkosten (sofern sie entsprechend kündbar sind) den Anwendungsaufwendungen zugerechnet werden.

Auch *Brugger* (2009, S. 65) verwendet die vorgestellte Einteilung und unterscheidet zusätzlich zwischen externen (die an Dritte und somit außenstehende Vertragspartner geleistet werden müssen) und internen Kosten des Unternehmens. Die internen Kosten sind primär personenbezogen und können weiter in die intern verrechneten Leistungen (Beanspruchung von unternehmensinternen Dienstleistungen oder Services) und in die internen Kosten der Mitarbeiter differenziert werden (vgl. *Brugger*, 2009, S. 66). Die internen Kosten der Mitarbeiter setzen sich in Anlehnung an *Brugger* (2009, S. 68) sowie *Kubicek* und *Lofthouse* (2010, S. 122) zusammen aus:

- Personalkosten der Mitarbeiter/Projektteam
- Kosten für interne Schulungen
- Arbeitsplatzbezogene Umlagen für Büroeinrichtung (Schreibtisch, Verbrauchsmaterialien etc.)
- Arbeitsplatzbezogene Umlage für Gebäude (Miete und Medienverbräuche etc.)
- IT-bezogene Umlage für PC und/oder Notebook, Peripheriegeräte, Speicher, Netzwerkanschluss etc.
- Ggfs. Abfindungen oder Kosten für Neuanwerbung

Zu den externen Kosten zählen in Anlehnung an *Brugger* (2009, S. 68):

- Kosten für Beratung
- Kosten für Installationen und Programmierungen
- Kosten für Schulungen und Trainings
- Reisekosten

- Kosten für Software
- Kosten für Hardware
- Kosten für Daten (bezogen auf BIM z. B. Modellelemente oder vorkonfigurierte Dateien)
- Kosten für Datenübertragung/Internetanschluss

Sowohl interne als auch externe Kosten können im Rahmen der Implementierungs- und/oder in der Anwendungsphase anfallen und sind daher bei beiden Aufwandsermittlungen entsprechend zu berücksichtigen. Zusammenfassend zeigt Abbildung 63 die grundlegende Zuordnungssystematik, die stets unternehmens- oder projektspezifisch unter Berücksichtigung der tatsächlichen Gegebenheiten auszufüllen ist.

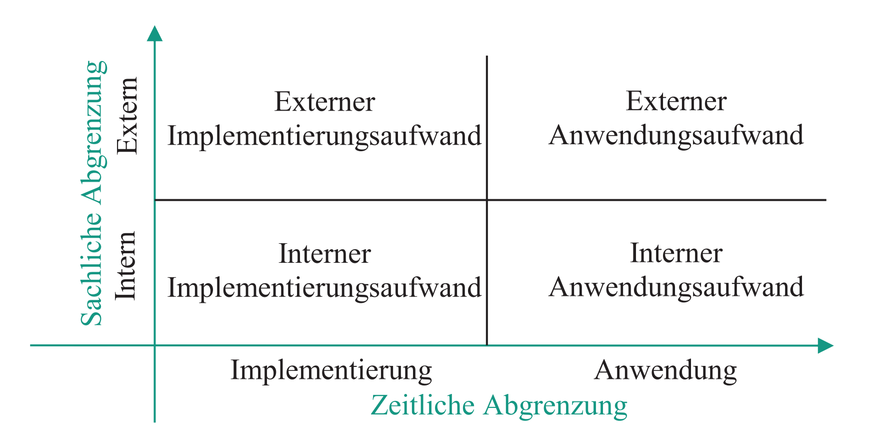


Abbildung 63: Schematische Darstellung der Zuordnungssystematik der Aufwände in Anlehnung an *Brugger* (2009, S. 69)

Dennoch bleibt bei dieser Einteilung eine Zuordnungsproblematik bestehen (vgl. *Krcmar*, 2015, S. 480). Beispielsweise läuft Software für bestimmte AWF auf einem Computer in einem Unternehmen. Die Kosten für den Computer können zwar bestimmt werden, doch wird er i.d.R. nicht nur für die Anwendung der BIM-Software, sondern vermutlich auch für weitere Tätigkeiten (Office-Anwendungen etc.) verwendet. Die gleiche Problematik tritt

auf, wenn ein Projektbeteiligter mehrere AWF, mehrere Projektbeteiligte einen AWF oder mehrere Projektbeteiligte mehrere AWF anwenden. Die beschaffte Software wird z. B. von zwei AWF benötigt. Es ist daher zu klären, ob das Verhältnis 50 zu 50 geeignet ist, oder ob eine unausgeglichene Beanspruchung der Software durch die AWF erfolgt und einem AWF dadurch ein höherer Aufwand zugeordnet werden muss. Ebenfalls ist beispielsweise zu klären, wie in einem Projekt die Kosten für eine eingerichtete Projektplattform aufgeteilt werden.

Grundsätzlich handelt es sich bei Fragen dieser Art um ein bereits in heutigen Projekten auftretendes Problem. Als klassisches und damit ggfs. eingängigeres Baustellen-Beispiel ist die Umlage für z. B. Allgemeinstrom auf die Nachunternehmer zu nennen. Mittels eines geeigneten Verteilungsschlüssels wird bisher und muss auch künftig bei AWF eine verursachungsgerechte Kostenaufteilung vorgenommen werden, die stets projekt- oder unternehmensspezifisch und in Abhängigkeit der in Summe angewendeten AWF angepasst werden muss.

Zwei weitere Besonderheiten sind bei der Betrachtung der Aufwände für BIM zu berücksichtigen. Zum einen können beim Implementierungsaufwand Kosten durch den zusätzlichen Betrieb eines Parallelsystems entstehen (vgl. *Brugger*, 2009, S. 82 f.). I.d.R. wird ein neues System oder ein neuer AWF nicht schlagartig, sondern stufenweise und daher parallel zu bestehenden Anwendungen eingeführt. Bei der Betrachtung der Aufwände entstehen somit Dopplungen, da das neue System noch nicht vollfunktionsfähig eingeführt ist und gleichzeitig das alte System weiterbetrieben werden muss. Zum anderen sind beim Anwendungsaufwand Re-Investitionskosten zu berücksichtigen, bei denen es sich um sog. lebenszyklusbedingte Ersatzbeschaffungen handelt (vgl. *Brugger*, 2009, S. 81). So ist es im Zusammenhang mit BIM möglich, dass bspw. Hardware neu angeschafft wird, damit wieder Garantie auf ein Neugerät vorhanden ist, anstatt einen auslaufenden und/oder mit höheren Kosten verbundenen Wartungsvertrag für ein Altgerät zu verlängern. Auch ist es vorstellbar, dass neue Hardware (-komponenten) beschafft werden müssen, wenn neue Software höhere Systemanforderungen hat.

Abzuwarten bleiben in diesem Kontext die Entwicklungen im Bereich des Cloud Computing (vgl. *Haghsheno et al.*, 2019, S. 47). Cloud Computing beschreibt die Bereitstellung von IT-Infrastruktur wie beispielsweise Speicherplatz oder Anwendungssoftware als Dienstleistung über das Internet, ohne dass diese auf dem lokalen Rechner installiert sein muss (vgl. *Qi* und *Gani*, 2012). Auch erste Anbieter von Software im Zusammenhang mit BIM gehen in diese Richtung. So bietet RIB seine neue Unternehmenssoftware iTWO 4.0 cloudbasiert an (vgl. *RIB Software SE)*.

Nach *Mell* und *Grance* (2011) und *Haghsheno et al.* (2019, S. 47) kann der Nutzer bei Cloud Computing über Clients und das Internet auf die Cloud-Infrastruktur zugreifen. In drei Ebenen wird unterschieden, wie tiefgreifend die Dienstleistungen sind, die Nutzer in der Cloud-Infrastruktur nutzen können. Bei Software-as-a-Service zahlt der Nutzer lediglich für die Anwendungen des Anbieters, die auf einer Cloud-Infrastruktur laufen; auf alles Weitere (z. B. physische Hardware) hat der Nutzer keinen Einfluss. Ein Beispiel ist der US-Amerikanische Cloudspeicher Dropbox. Bei Platform-as-a-Service wird dem Nutzer eine Cloud-Infrastruktur zur Verfügung gestellt, in der seine eigenen Anwendungen ausgeführt werden. Der Cloud-Anbieter ist dafür verantwortlich, dass die Anwendungen der Nutzer funktionieren, unabhängig davon, auf welchen Programmiersprachen und Bibliotheken sie beruhen und muss daher die Cloud-Infrastruktur verwalten und kontrollieren. Ein Beispiel ist der Dienst Google App Engine. Dort kann ein Nutzer z. B. die Anwendung für einen Onlineshop stationieren, die er selbst programmieren möchte. Steigt kurzfristig die Anzahl der Anfragen an den Onlineshop rapide an, so ist Google dafür verantwortlich, die Anwendung auf genügend weitere Server zu skalieren, sodass sie nicht abstürzt. Bei Infrastructure-as-a-Service wird dem Nutzer physische Hardware wie Server oder Datenbanken direkt zur Verfügung gestellt. Dies ist mit dem Kauf bzw. Mieten eines eigenen Rechners vergleichbar – mit dem Unterschied, dass der gekaufte bzw. gemietete Rechner nicht im eigenen Gebäude, sondern in externen Rechenzentren steht.

In anderen Branchen wird zur ganzheitlichen Erfassung der Aufwände bzw. Kosten häufig der Ansatz der „Total Cost of Ownership" herangezogen. Dabei handelt es sich um eine systematische und daher möglichst vollständige Berücksichtigung aller Aufwendungen eines Investitionsobjekts, wobei die

genaue Bedeutung unterschiedlich ausgelegt wird (vgl. *Götze* und *Weber*, 2008, S. 249). Der Anwendung des Ansatzes inhärent ist jedoch, dass alle Kosten ermittelt werden können. Allerdings können Aufwände für AWF nicht in allgemeingültiger Form erfasst werden, da sie stets unternehmensabhängig sind. Exemplarisch werden in diesem Zusammenhang abschließend die Gehalts- und Schulungskosten diskutiert.

Gehalt.de (2019) gibt das durchschnittliche monatliche Gehalt eines BIM-Managers mit 4.242 € brutto und das eines BIM-Konstrukteurs mit 3.167 € brutto an. Auch wenn diese Werte nur als grobe Orientierung betrachtet werden dürfen, wird das darin bestehende Problem offensichtlich. Es ist vollkommen unklar, wer AWF in einzelnen Unternehmen anwendet. So betitelt *Philipp* (2019) ihren Artikel zu Recht mit der Frage „Wie wird man BIM-Manager?“ und stellt fest, dass es keine klassische oder standardisierte Ausbildung gibt. Selbst wenn es die Standardisierung gäbe, können die Gehälter unterschiedlich hoch sein. In tarifgebundenen Bauunternehmen wäre ggfs. eine Orientierung an den entsprechenden Entgeltgruppen etwa im Bereich A V bis A VIII möglich, in nicht-tarifgebundenen Unternehmen kann das Gehalt jedoch auch deutlich darunter oder darüber liegen.

Die nicht oder nur in Teilen vorhandene Ausbildung der künftigen Mitarbeiter im Bereich BIM in den Lehrberufen und Studiengängen führt dazu, dass eine Vielzahl privater Schulungsanbieter und unternehmensinterner Weiterbildungen am Markt verfügbar sind. Zwar gibt es erste standardisierte Qualifikationsmerkmale dieser Weiterbildungen (vgl. *VDI und buildingSMART* 2552 Blatt 8.1, 2019)), dennoch schwanken einzelne Ausbildungsinhalte und -kosten stark. Beispielsweise bietet die *TÜV SÜD AG* (2019) ein zweitägiges BIM-Basis Seminar, ergänzt um zwei Webinare für 2.915 € brutto an und empfiehlt als Teilnehmerkreis u. a. BIM-Verantwortliche aus Unternehmen. Wohingegen das nach eigenen Angaben „größte Autodesk-Systemhaus in Europa“ eine 10-tägige Ausbildung zum BIM-Konstrukteur für 5.236 € brutto (vgl. *Mensch und Maschine*, 2019a), eine 5-tägige Ausbildung zum BIM-Koordinator für 4.546 € brutto (vgl. *Mensch und Maschine*, 2019b) oder eine ebenfalls 5-tägige Ausbildung zum BIM-Manager für 5.831 € brutto (vgl. *Mensch und Maschine*, 2019c) anbietet. Vergleichbarer hingegen sind

private Weiterbildungsangebote von Hochschulen und Universitäten in Kooperation mit Praxispartnern, wie beispielsweise das 10 Präsenztage umfassende Programm der Ruhr Universtität Bochum zum „BIM-Professional“ für 8.033 € brutto (vgl. *Akademie der Ruhr-Universität gGmbH*, 2019) oder das ebenfalls 10 Präsenztage umfassende berufsbegleitende Zertifikatsstudium „Building Information Modeling“ der Hochschule Karlsruhe für 6.900 € brutto (vgl. *Institut für Wissenschaftliche Weiterbildung der Hochschule Karlsruhe*, 2019).

Die Kosten für Gehälter und Schulungen im Zusammenhang mit BIM fallen schlussfolgernd sehr individuell aus und können nur in einzelnen Unternehmen unter Berücksichtigung deren interner Gehaltsgefüge und Mitarbeiterqualifikationen bestimmt werden. Auch alle anderen Kosten für die Implementierung und Anwendung von BIM sind unternehmensspezifisch und abhängig von den dort vorhandenen Kompetenzen, Prozessen, Projektstrukturen aber auch bspw. Einkaufskonditionen.

Es wird deutlich, dass die Erfassung der Aufwände von BIM zwar sehr vielschichtig und je nach Granularität aufwendig sein kann. Dennoch können die Aufwände in einem Unternehmen i.d.R. immer in Form von Kosten oder aufgebrachten Arbeitsstunden erfasst werden. Die Auflistungen in diesem Kapitel dienen als entsprechende Checkliste. Schwieriger gestaltet sich die Erfassung der Nutzen, da diese oftmals nicht direkt monetär messbar sind. Daher werden im folgenden Kapitel 6.4 zunächst Indikatoren und Metriken zur Nutzenmessung vorgestellt, bevor in Kapitel 6.5 auf die Nutzen selbst eingegangen wird.

6.4 Indikatoren und Metriken zur Nutzenmessung

Eng im Zusammenhang mit der Nutzenmessung stehen die in Kapitel 2.5.4 erläuterten Kennzahlen und Kennzahlensysteme, die auch als Indikatoren bezeichnet werden können. Analog zu den Aufwendungen müssen auch Nutzen

idealerweise in Form eines Indikators und mit einer geeigneten Metrik bestimmt bzw. gemessen werden. An einem Beispiel wird die Begriffsabgrenzung zwischen Nutzen, Indikator und Metrik vorgenommen.

Beispielsweise besteht ein Nutzen des AWF Nr. 2 „Änderungsmanagement" darin, dass die durchgängige Nachverfolgung und Dokumentation von Änderungen möglich werden. Dieser Nutzen kann mit Hilfe geeigneter Indikatoren und zugehörigen Metriken erfasst werden. Geeignete Indikatoren für AWF Nr. 2 sind z. B. die „Änderungsaufträge" selbst oder die „Änderungsdauer". Diese beiden Indikatoren können mit unterschiedlichen Metriken bestimmt werden. Eine Metrik für den Indikator „Änderungsaufträge" ist beispielsweise die „absolute Anzahl der Änderungsaufträge". Alternativ könnte der Indikator aber auch durch die „relative Anzahl der Änderungsaufträge zur Anzahl der Gesamtaufträge im Projekt" angegeben oder spezifisch nach Gewerken („relative Anzahl der Änderungsaufträge im Bereich Lüftung zur Anzahl der Gesamtaufträge im Projekt") oder Projektphasen („relative Anzahl der Änderungsaufträge in der Planungsphase zur Anzahl der Gesamtaufträge im Projekt") bestimmt werden. Der Indikator „Änderungsdauer" kann ebenfalls über verschiedene Metriken erfasst werden. Geeignete Metriken sind beispielsweise „absolute Anzahl der zusätzlichen Projekttage aufgrund von Änderungen" oder „relative Anzahl der zusätzlichen Projekttage aufgrund von Änderungen im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Projekttage des Projekts". Ebenso wäre es vorstellbar, anstatt der Zeiteinheit „Tage" bspw. „Stunden" oder „Wochen" zu verwenden. Die Dauer selbst kann auf unterschiedliche Weise ausgedrückt werden, z. B. durch die Differenz von „Bestätigungsdatum Änderungsauftrag" und „Eingangsdatum Änderungsauftrag" oder durch die Differenz von „Abschlussdatum Änderungsauftrag" und „Eingangsdatum Änderungsauftrag". Weitere Stichtage wie z. B. „Datum Arbeitsbeginn Änderungsauftrag", „Datum Fertigstellung Änderungsauftrag", „Datum Abnahme Änderungsauftrag" oder „Datum Zahlungseingang Änderungsauftrag" sind denkbar. Das Beispiel verdeutlicht, dass die Anzahl der Metriken nahezu unendlich erweitert und an unternehmens- oder projektspezifische Bedürfnisse angepasst werden kann.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher nicht, eine endlose Sammlung potentieller Indikatoren und Metriken zu erarbeiten, sondern sinnvolle Kategorisierungen (in Form der Zuweisung zu einzelnen AWF) vorzunehmen und beispielhafte Indikatoren und Metriken zur Verfügung zu stellen, die im Anschluss individuell angepasst und erweitert werden können.

Indikatoren lassen sich in Anlehnung an *McGraw-Hill Construction* (2014b, S. 25) in die folgenden vier Kategorien differenzieren und werden hier um geeignete Indikatorenbeispiele ergänzt:

- Finanzindikatoren (z. B. Projektkosten, Planungskosten, Herstellungskosten, Rentabilität, Produktivität)
- Projektindikatoren (z. B. Dauer der Planung, Dauer der Projektabwicklung, Beteiligte, Abstimmungsfehler, Änderungsaufträge, Kundenzufriedenheit, Verzögerung,)
- Sicherheitsindikatoren (z. B. Arbeitsunfälle, Ausfallstunden)
- Interne Indikatoren (z. B. Vermarktung, neue Angebote, Anwerbung und Bindung von Mitarbeitern, Mitarbeiterzufriedenheit, Kundenzufriedenheit)

Abdirad und *Pardis* (2014, S. 499 f.) beschreiben u. a. die folgenden auf Basis einer Literaturrecherche erfassten Metriken zur Bewertung von BIM und kategorisieren diese in retrospektiv (a), prospektiv (b) und Echtzeit (c):

- Anzahl RFI im Bereich der Bewehrungsdetaillierung und im Einbau (a)
- Anzahl Terminänderungen im Bereich der Bewehrungsdetaillierung und im Einbau (a)
- Änderungskosten im Bereich der Bewehrungsdetaillierung und im Einbau (a)
- Genauigkeit der Lokalisierung mittels AR (a)
- Nutzungsgeschwindigkeit der 3D-Punktwolke (a)
- Anzahl Abweichungen (Fehler), differenziert nach Abweichungskategorien (a+b)
- Abweichung der Objekte zwischen Modell und Laserscan (a+b)

Unabhängig von der Aussagekraft dieser Metriken ist auffällig, dass keine Metrik in Kategorie c (Echtzeit) fällt. Fast alle Metriken werden Kategorie a

zugeordnet. Eng damit verknüpft ist die Aussagekraft und Belastbarkeit (vgl. hierzu auch die in Kapitel 2.6.3 vorgestellten Differenzierungskriterien in Tabelle 5). Während retrospektive Metriken zwar verlässliche Daten betrachten, können sie gleichzeitig nur solche Daten betrachten, die erfasst wurden. Bei prospektiven Metriken hingegen kann vorab bestimmt werden, welche Daten erhoben werden müssen, gleichzeitig sind diese vorausschauenden Prognosen mit Unsicherheiten behaftet. Die Zuordnungen von *Abdirad* und *Pardis* (2014) offenbaren somit ein Problem der Baubranche, denn i.d.R. werden bei Bauprojekten im Vergleich zu anderen Industrien (z. B. Automobil oder IT) relativ wenige Daten erfasst. Dieser Mangel an Verfügbarkeit von (geeigneten) Daten erschwert zugleich die Anwendung von prospektiven oder Echtzeit-Metriken, sodass sich im Rahmen dieser Arbeit im Wesentlichen auf klassische Indikatoren und Metriken der Baubranche beschränkt wird, die *Sanchez et al.* (2016, S. 297-336) auf Basis einer Literaturrecherche zusammengetragen und in die folgenden vier Kategorien[4] unterschieden haben (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 298).

- Menschen: Diese Indikatoren beobachten Nutzen, die durch veränderte Verhaltensmuster und Arbeitsweisen oder direkt bei den Mitarbeitern erzielt werden.
- Prozesse: Diese Indikatoren beobachten Nutzen, die durch Prozessveränderungen/-verbesserungen entstanden sind oder generell zur Effizienzmessung verwendet werden können.
- Einkauf: Diese Indikatoren beobachten Nutzen, die durch Einkaufs- oder Assetmanagement-Verbesserungen entstehen.
- Nachhaltigkeit: Diese Indikatoren beobachten Nutzen, die durch Verbesserungen im Bereich der Nachhaltigkeit entstehen.

[4] Die Belastbarkeit der Einteilung in die vier Kategorien kann kritisch hinterfragt werden, da einzelne Indikatoren auch anderen Kategorien zugeordnet werden können. Da die Differenzierung in die vier Kategorien im Verlauf der Arbeit jedoch nicht fortgeführt wird, sondern lediglich die Indikatoren selbst verwendet werden, wird dieser Punkt nicht tiefergehend diskutiert und die Einteilung nach *Sanchez et al.* (2016) vorgestellt.

Die folgenden zehn Indikatoren fallen in die Kategorie Menschen und können mit den exemplarisch angegebenen Metriken bestimmt werden (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 300-306):

- Angemessenheit von Meetings: Hierbei geht es um den Anteil der Punkte auf einer Tagesordnung, die die Mehrheit der Meetingteilnehmer als wertschöpfend ansieht. Ein Erfolgskriterium könnte sein, dass dieser Wert > 70 % sein soll.
- Arbeitsintensität: Anzahl der Arbeitsstunden einer Tätigkeit/Gesamtanzahl der Arbeitsstunden eines Mitarbeiters
- Effektivität von Meetings: Anteil der Teilnehmer die angeben, dass sie rechtzeitig und aktiv an Meetings teilgenommen haben. Ein Erfolgskriterium könnte sein, dass dieser Wert > 90 % sein soll.
- Effizienz von Meetings: Anteil der wertschöpfenden Aktivitäten während eines Meetings
- Einbindung von Beteiligten: Prozentuale Beteiligung der Beteiligten eines Bauprojekts bspw. an Überprüfungs- oder Genehmigungsprozessen.
- Konflikte: Die Verbesserung dieses Indikators kann ein Hinweis auf eine verbesserte Koordination und eine effizientere Kommunikation sein. Erfolgskriterien können das völlige Fehlen von Rechtsstreitigkeiten oder eine geringere Anzahl von Konflikten als bei vergleichbaren Projekten sein. Mögliche Metriken sind die Anzahl an Nachträgen, Kosten an Nachträgen oder der Zeitaufwand für die Lösung von Nachträgen/Konflikten.
- Lernkurve: Hierbei geht es um die Verbesserung von Aufwands- oder Leistungswerten durch die Anwendung von BIM. Beispielsweise könnte der Aufwandswert (h/m^2) einer Tätigkeit im Verhältnis zur Anwendungszeit des AWF betrachtet werden und geprüft werden, ob sich dieser Aufwandswert mit der Zeit verbessert.
- Sicherheit: Klassische Metriken, die den Anteil an Arbeitsunfällen o. ä. betrachten, wie z. B.

  - o LTI (Lost Time Incident)[5]
  - o LTIF (Lost Time Injury Frequency)[6] =
    Summe aller LTI x 1 Mio./Anzahl geleisteter Arbeitsstunden
  - o FAC (First Aid Case)[7]
  - o MTC (Medical Treatment Case)[8]
  - o Anzahl der Beinaheunfälle
  - o Verhältnis zwischen der Anzahl der Arbeitsunfälle mit Ausfallzeiten und der Anzahl der geleisteten Arbeitsstunden
- ▪ Wissensmanagement: Metriken könnten sein
  - o Anzahl der Schulungsstunden pro Mitarbeiter.
  - o Anzahl der Stunden für Instruktionen/Arbeitsanweisungen.
  - o Anzahl der Stunden, die Führungskräfte zur Erklärung von Strategien und Maßnahmen benötigen.
  - o Anzahl oder Einsparhöhe von Verbesserungsvorschlägen der Mitarbeiter.
  - o Anzahl der Prozesse, die ohne Fehler abgeschlossen werden.
  - o Ausgaben für Weiterbildung pro Mitarbeiter im Verhältnis zum Gehalt.
- ▪ Zufriedenheit: Metriken könnten sein
  - o Abfrage der Kundenzufriedenheit bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden).
  - o Abfrage der Mitarbeiterzufriedenheit oder Motivation.
  - o Personalfluktuationsrate
  - o Fehlzeiten der Mitarbeiter

Die folgenden 17 Metriken ordnen *Sanchez et al.* (2016, S. 308-316) der Kategorie Prozesse zu. Sie können mit den exemplarisch angegebenen Metriken bestimmt werden.

[5] Unfall mit Ausfallzeit
[6] Unfallhäufigkeitsrate
[7] Erste-Hilfe Fall
[8] Unfall mit ärztlicher Behandlung

- Änderungsaufträge: Metriken könnten z. B. die Anzahl der Änderungen oder die Anzahl der Änderungen als Prozentsatz der Änderungen bei vergleichbaren Nicht-BIM-Projekten sein.
- Änderungsdauer: Metriken könnten z. B. die Anzahl der zusätzlichen Projekttage aufgrund von Änderungen (absolut oder relativ) sein.
- Änderungskosten: Als Metrik könnte der kumulierte Wert der Änderungsaufträge oder dessen Verhältnis zu den Gesamtprojektkosten verwendet werden.
- Gesamtdauer: Als Metrik in Form der Bauzeit (Fertigstellungstermin - Projektbeginn), ggfs. differenzierte Betrachtung zwischen Soll- und Ist-Werten.
- Informationsanfrage (RFI):
  - Gesamtanzahl der RFI.
  - Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase.
  - Kosten der RFI (gesamt oder pro Stück).
  - Bearbeitungsdauer der RFI.
- Kollisionen (clashes):
  - Gesamtanzahl der Kollisionen.
  - Anzahl der Kollisionen nach Art, Beteiligten oder Phase.
  - Kosten der Kollisionen (gesamt oder pro Stück).
  - Bearbeitungsdauer der Kollisionen.
- Leerlaufzeiten: Metriken könnten die Leerlaufzeit von Maschinen oder die Bereitschaftszeit der Mitarbeiter sein.
- Modellkonsistenz: Als Metrik könnte die Anzahl der Modelle mit Konflikten herangezogen werden.
- Nacharbeitungsumfang: Die Metrik könnte in Form des Zeitaufwands der Mitarbeiter für die Behebung von Problemen ermittelt werden.
- Produktionsgeschwindigkeit: (Leistungswerte)
  - Fertiggestellte Bruttogeschossfläche (m^2) pro Bauzeit (Tag, Woche etc.).
  - Percentage of Completion Methode.
- Risiko: Als Metrik könnten die Kosten für Unvorhergesehenes herangezogen werden (entweder absolut oder relativ zu den Gesamtprojektkosten).
- Terminkonformität: Metriken könnten sein

  - Anzahl der Aktivitäten die z. B. innerhalb einer Abweichung von < 1 Tag vom Zeitplan fertiggestellt werden (absolut oder relativ zur Anzahl aller Aktivitäten).
  - Anzahl termingerechter Fertigstellungen.
  - Zeitabweichung = (Bauzeit - ursprüngliche Vertragslaufzeit - Fristverlängerung)/ (ursprüngliche Vertragslaufzeit + Fristverlängerung).
- Visualisierungszufriedenheit: Könnte qualitativ bestimmt werden, indem Zufriedenheit der Beteiligten mit den Modellen oder den Visualisierungen abgefragt wird.
- Vorfertigung: Als Metriken könnten die Anzahl der Arbeitsstunden für Vorfertigung absolut oder relativ zur Anzahl der Gesamtprojektstunden verwendet werden.
- Wartezeit: Als Metrik könnte die Entscheidungslatenzzeit verwendet werden (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung).
- Zeit pro Einheit (Aufwandswerte): Kehrwert der Produktionsgeschwindigkeit. Eine geeignete Metrik könnte die Dauer für die Fertigstellung einer bestimmten Einheit sein (z. B. h/m² BGF).
- Zeitliche Vorhersagegenauigkeit: (Istzeit - Sollzeit)/Istzeit.

Die folgenden neun Indikatoren ordnen *Sanchez et al.* (2016, S. 318-326) der Kategorie Einkauf zu. Sie können mit den exemplarisch angegebenen Metriken bestimmt werden.

- Genauigkeit und Fehleranzahl: Für diesen Indikator sind verschiedene Metriken denkbar:
  - Abweichungen zwischen Kalkulation (Sollkosten) und Istkosten.
  - Genauigkeit der aus dem BIM-Modell abgeleiteten Zeichnungen.
  - Genauigkeit des As-Built-Modells oder der Energiemodelle in Bezug auf die Realität.
  - Anzahl der Arbeitsstunden zur Erstellung des As-Built-Modells als Konsequenz aus Abweichungen auf der Baustelle zum Planungsmodell.
  - Gesamtzahl der Fehler, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase.

- Gesamtkosten:
  - Gesamtkosten, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase.
  - Gesamtkosten im Verhältnis zu vergleichbaren Gesamtkosten von Nicht-BIM-Projekten.
- Kosten für Gewährleistung:
  - Gesamtkosten für Gewährleistungsmängel.
  - Anteil der Gewährleistungskosten an Gesamtkosten.
- Kosten pro Einheit:
  - Stückkosten (Gesamtkosten pro Mengeneinheit z. B. m^2 BGF).
  - Materialkosten pro Mengeneinheit.
  - Personalkosten pro Mengeneinheit.
  - Entsorgungskosten pro Mengeneinheit.
- Kosteneinsparungen: Bei diesem Indikator handelt es sich um eine Abschätzung der Kosteneinsparungen durch BIM. Geeignete Metriken könnten sein:
  - Geschätzte Kosten der vermiedenen Kollisionen (absolut oder relativ zu den Gesamtkosten).
  - Geschätzte Kosten der vermiedenen Terminüberschreitungen (absolut oder relativ zu den Gesamtkosten).
- Kostenvorhersagegenauigkeit: (Istkosten - Sollkosten)/Istkosten.
- Marktzugang: Eine Metrik könnte sein, den Zeitaufwand für die Erteilung des Auftrags zu erfassen.
- Qualität:
  - Anzahl der Mängel zum Zeitpunkt der Abnahme.
  - Anzahl der Mängel in der Gewährleistungsphase.
- ROI: Beschrieben durch den Quotienten aus Gewinn und investiertem Kapital (vgl. Abbildung 16).

Abschließend fallen die folgenden drei Indikatoren in die Kategorie Nachhaltigkeit und können mit den exemplarisch angegebenen Metriken bestimmt werden (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 328-331):

- CO2-Bilanz: Ökologischer Fußabdruck (Carbon Footprint) der verwendeten Baustoffe im Projekt.
- Nachhaltigkeit: Ergebnisse oder Bewertungen von Nachhaltigkeitszertifizierungen.

- Ressourcennutzung: Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.).

Sanchez et al. (2016) entscheiden sich damit für eine andere Gruppierung der Indikatoren als es *McGraw-Hill Construction* (2014b) vorgeschlagen hat. Allerdings ist die Gruppierung selbst von geringer Relevanz. Wichtiger ist, dass Anwender von BIM Informationen über allgemein verfügbare Indikatoren erhalten und eine Hilfestellung bekommen, welche Indikatoren für welche AWF geeignet sind. Dieses Ziel wird in der vorliegenden Arbeit erreicht (vgl. dazu Kapitel 7.1.3 und Anhang D). Die Gruppierung kann bedarfsspezifisch individuell vorgenommen werden.

Von großer Bedeutung bei der Anwendung dieser Indikatoren und Metriken ist die Berücksichtigung, ob eine isolierte Betrachtung notwendig ist. Nur wenn die Metriken für einzelne Nutzen der AWF bestimmt werden, können entsprechende Aussagen hergeleitet werden. Andernfalls könnte es zu Nutzen-interferenzen kommen, bei der sich die Nutzen einzelner AWF oder anderer Phänomene überlagern und damit verstärken oder ggfs. auch gegenseitig auslöschen können. Der zweite Punkt, der bei der Anwendung von Metriken beachtet werden muss ist der sog. Hawthorne-Effekt, bei dem es darum geht, dass „die Ursache von beobachteten Verhaltenseffekten nicht die manipulierte unabhängige Variable ist […], sondern auf das Wissen der teilnehmenden Personen zurückzuführen ist, dass sie an einer Studie teilnehmen“ (*Gabler Wirtschaftslexikon*, 2019). Zwar wird der Begriff in Teilen kontrovers diskutiert (vgl. *Lück*, 2009), dennoch sollten psychologische Effekte dieser Art bei der Nutzenmessung bedacht werden. Dem entgegenwirken könnte die automatische Erfassung von Metriken, wie sie beispielsweise *Zhang et al.* (2018) mit der Auswertung der Revit-Journal-Dateien vorschlägt (vgl. Kapitel 3.3.2). Allerdings sind bei diesem Vorgehen moralische und rechtliche Fragen im Hinblick auf die Zulässigkeit der Überwachung und Auswertung der Leistung einzelner Mitarbeiter zu berücksichtigen.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass eine Vielzahl von Indikatoren und Metriken zur Nutzenmessung von BIM und einzelner AWF verfügbar sind. Bei einigen davon handelt es sich um allgemeine Projektindikatoren, die auch

unabhängig von der Anwendung von BIM erfasst werden könnten, allerdings bei isolierter Anwendung einzelner AWF den Nutzen bestimmen können. Andere Indikatoren und Metriken hingegen beziehen sich speziell auf die Anwendung von BIM (z. B. Kollisionen oder RFI) und erfordern somit nicht die isolierte Anwendung. Die konkrete Anwendbarkeit und Eignung ist unter Berücksichtigung der ggfs. bereits erhobenen Indikatoren und Metriken sowie unter Berücksichtigung des konkreten Anwendungsspektrums von BIM (im Sinne der verwendeten AWF) unternehmens- oder projektspezifisch zu prüfen. Des Weiteren sind die dadurch erfassten Daten unter Berücksichtigung der Erhebungsumstände ggfs. zu interpretieren. In Kapitel 7.1.3 werden einem AWF exemplarisch und zur Erklärung der Vorgehensweise geeignete Indikatoren und Metriken unter Berücksichtigung der aus seiner Anwendung resultierenden Nutzen zugeordnet. Die Zuordnung für alle AWF findet sich in Anhang D.

6.5 Beschreibung der Nutzen und Zuordnung der Indikatoren

In diesem Kapitel wird die Nutzenseite von BIM genauer betrachtet. Bereits in Kapitel 3.3 wurden auf Basis der bestehenden Untersuchungen auf unterschiedlichen Granularitätsstufen Nutzen von BIM vorgestellt. Im Ergebnis beschäftigen sich die meisten Publikationen mit allgemeinen Nutzen von BIM ohne diese auf konkrete Teile davon (AWF) zu beziehen. Nur die Untersuchungen aus Kapitel 6.2 betrachten die Zusammenhänge zwischen einzelnen Nutzen und AWF. Allerdings beschäftigt sich nahezu keine Arbeit mit der tatsächlichen Erfassung der Nutzen. Ergebnisse beruhen in überwiegender Form auf Umfragen oder Experteneinschätzungen. In diesem Kapitel geht es folglich darum, den Nutzen geeignete Indikatoren zuzuordnen.

Bereits *Vass* (2016, S. 6 f.) hat die in Kapitel 3.3.1 vorgestellte Unterteilung in Nutzen, die sich auf den Projektfortschritt und Nutzen die sich auf das Projektergebnis beziehen, getroffen, den Fokus ihrer Arbeit aber nicht auf eine umfassende Nutzenidentifikation gelegt. Die für diese Arbeit am geeignetste Identifikation und Beschreibung von Nutzen stammt von *Sanchez et al.*

(2016), denn sie haben nicht nur, wie bereits vorgestellt, AWF und Nutzen zugeordnet, sondern den Nutzen auch entsprechende Indikatoren und Metriken zur Messung zugeordnet (vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 103-204). Die Ergebnisse dieser Zuordnungen werden hier kurz vorgestellt, wobei sich die vollständigen Zuordnungen in Bezug auf die neu entwickelten AWF in Anhang D befinden. Zunächst werden die Indikatoren aus Kapitel 6.4 zur besseren Übersicht in Tabelle 24 zusammengefasst. Die Zahl in Klammern gibt an, wie viele Nutzen mit diesem Indikator bestimmt werden können. Je höher die Zahl, desto mehr Nutzen kann der entsprechende Indikator bestimmen. Im Hinblick auf die in Kapitel 2.6.1 geführte Diskussion über den Bewertungsaufwand von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (vgl. *Eichhorn* und *Merk*, 2016, S. 263) sind folglich Indikatoren zu bevorzugen, die eine möglichst hohe Zahl an Nutzen bewerten können.

Tabelle 24: Indikatoren zur Nutzenmessungnach *Sanchez et al.* (2016, S. 297-331)

Änderungsaufträge (3)	Lernkurve (1)
Änderungsdauer (1)	Marktzugang (1)
Änderungskosten (5)	Modellkonsistenz (3)
Angemessenheit von Meetings (1)	Nacharbeitungsumfang (7)
Arbeitsintensität (7)	Nachhaltigkeit (2)
CO2-Bilanz (2)	Produktionsgeschwindigkeit (4)
Effektivität von Meetings (2)	Qualität (4)
Effizienz von Meetings (2)	Ressourcennutzung (3)
Einbindung von Beteiligten (1)	Risiko (1)
Genauigkeit und Fehleranzahl (5)	ROI (0)
Gesamtdauer (7)	Sicherheit (2)
Gesamtkosten (2)	Terminkonformität (0)
Informationsanfrage (RFI) (6)	Visualisierungszufriedenheit (1)
Kollisionen (3)	Vorfertigung (2)
Konflikte (7)	Wartezeit (4)
Kosten für Gewährleistung (2)	Wissensmanagement (1)
Kosten pro Einheit (4)	Zeit pro Einheit (4)
Kosteneinsparungen (4)	Zeitliche Vorhersagegenauigkeit (1)
Kostenvorhersagegenauigkeit (4)	Zufriedenheit (2)
Leerlaufzeiten (3)	

Insgesamt vier Indikatoren sind dazu in der Lage, jeweils sieben der 31 Nutzen zu bestimmen. Diese Indikatoren, ergänzt um die Angabe der damit bestimmbaren Nutzen, sind:

Indikator „Arbeitsintensität“:

- Geringere Kosten
- Höhere Prozessautomatisierung
- Verbesserte Produktivität
- Bessere Alternativanalyse
- Bessere Kostenberechnung
- Verbesserte Effizienz
- Personaleinsparung im Asset Management

Indikator „Gesamtdauer“:

- Verbesserte Kommunikation
- Verbesserte Koordination
- Weniger Nacharbeit
- Bessere Daten-/Informationserfassung
- Verbesserte Lernkurve
- Verkürzte Ausführungszeiten
- Schnellere Einhaltung von Anforderungen/Prüfung von Regeln

Indikator „Konflikte“:

- Bessere Terminplanung
- Verbesserte Kommunikation
- Verbesserte Koordination
- Bessere Änderungsmanagement
- Optimierung der Bauabläufe
- Weniger Fehler
- Besseres Flächenmanagement

Indikator „Nacharbeitungsumfang“:

- Bessere Terminplanung
- Verbesserte Output-Qualität
- Höhere Prozessautomatisierung

- Verbesserte Koordination
- Weniger Nacharbeit
- Verbessertes Daten- und Informationsmanagement
- Bessere Daten-/Informationserfassung

Auch bei der Indikator-Nutzen-Zuordnung ist es möglich, eine Auswertung in gedrehter Blickrichtung durchzuführen, um zu bestimmen, mit wie vielen Indikatoren die einzelnen Nutzen bestimmt werden können. Dadurch kann festgestellt werden, für welche Nutzen besonders viele Indikatoren zur Verfügung stehen und welche damit besonders verlässlich bestimmt werden können. Die meisten Indikatoren (9 von 39) sind dem Nutzen „bessere Terminplanung“ zugeordnet. Dabei handelt es sich um die folgenden Indikatoren:

- Kollisionen
- Konflikte
- Kosten pro Einheit
- Kostenvorhersagegenauigkeit
- Leerlaufzeiten
- Nacharbeitungsumfang
- Produktionsgeschwindigkeit
- Ressourcennutzung
- Zeitliche Vorhersagegenauigkeit

Für insgesamt acht Nutzen existieren nach *Sanchez et al.* (2016) jeweils nur ein Indikator. Darin liegt die Notwendigkeit begründet, bei der abschließenden Zuordnung der Metriken zu den Indikatoren, der Indikatoren zu den Nutzen und der Nutzen zu den AWF, auf diese Nutzen ein besonderes Augenmerk zu legen, damit mindestens jeweils zwei Metriken angegeben werden. Dadurch wird sichergestellt, dass jeder Nutzen mindestens über zwei verschiedene Metriken erfasst wird und somit zumindest eine eingeschränkte Wahlmöglichkeit (zwischen zwei Alternativen) besteht. Diese Nutzen, unter Angabe der zugehörigen Indikatoren, sind:

- Verbesserte Qualitäts- und Prozessdokumentation (Indikator Modellkonsistenz)
- Reduziertes Risiko (Indikator Risiko)

- Besseres Flächenmanagement (Indikator Konflikte)
- Verbesserte Sicherheit (Indikator Sicherheit)
- Höhere Kundenzufriedenheit (Indikator Zufriedenheit)
- Personaleinsparung im Asset Management (Indikator Arbeitsintensität)
- Effizienteres Notfallmanagement (Indikator Sicherheit)
- Schnellere Einhaltung von Anforderungen/Prüfung von Regeln (Indikator Gesamtdauer)

Im Durchschnitt sind jedem Nutzen 3,6 Indikatoren und jedem Indikator 2,92 Nutzen zugeordnet. Doch auch beim Nutzen besteht eine Zuordnungsproblematik analog der bei den Aufwänden. Beispielsweise ist es vorstellbar, dass der Nutzen aus einer Investition in die Schulung eines Mitarbeiters an weiteren Stellen Vorteile generiert, anstatt nur eine konkrete Verbesserung in der Anwendung von AWF zu erzeugen. Der tatsächliche Gesamtnutzen ist folglich wahrscheinlich größer als er für den jeweiligen AWF bestimmt wird. *Schumann* (1993, S. 174) spricht in diesem Zusammenhang von Wirkungsketten. Mit Hilfe des in Kapitel 2.6 erfassten Verfahrens „Analyse von Nutzeneffekten“ können diese Zusammenhänge erarbeitet werden. Es stellt Wirkungszusammenhänge (qualitativ und quantitativ) transparent dar. Primäre Effekte sorgen für sekundäre Veränderungen. Anschließend wird versucht, qualitative Wirkungen zu quantifizieren und quantitative Wirkungen zu monetarisieren (vgl. hierzu auch Anhang A, Nr. 5). „Primäre Aufgabe der Nutzeffektketten ist es damit, die Nutzeffekte vollständig und strukturiert darzustellen und dabei auch die indirekten Wirkungen abzuleiten.“ (*Schumann*, 1993, S. 174).

Beispielhaft zeigt Abbildung 64 seine Überlegungen zu den Wirkungsketten, die aus der Implementierung eines CAD-Systems entstehen. Der Ansatz wird in vorliegender Arbeit aufgegriffen. Dazu sind jedoch zunächst die Abhängigkeiten der AWF untereinander zu berücksichtigen, die im Rahmen der Modellierung der Wirtschaftlichkeit von BIM in Kapitel 7 erarbeitet werden.

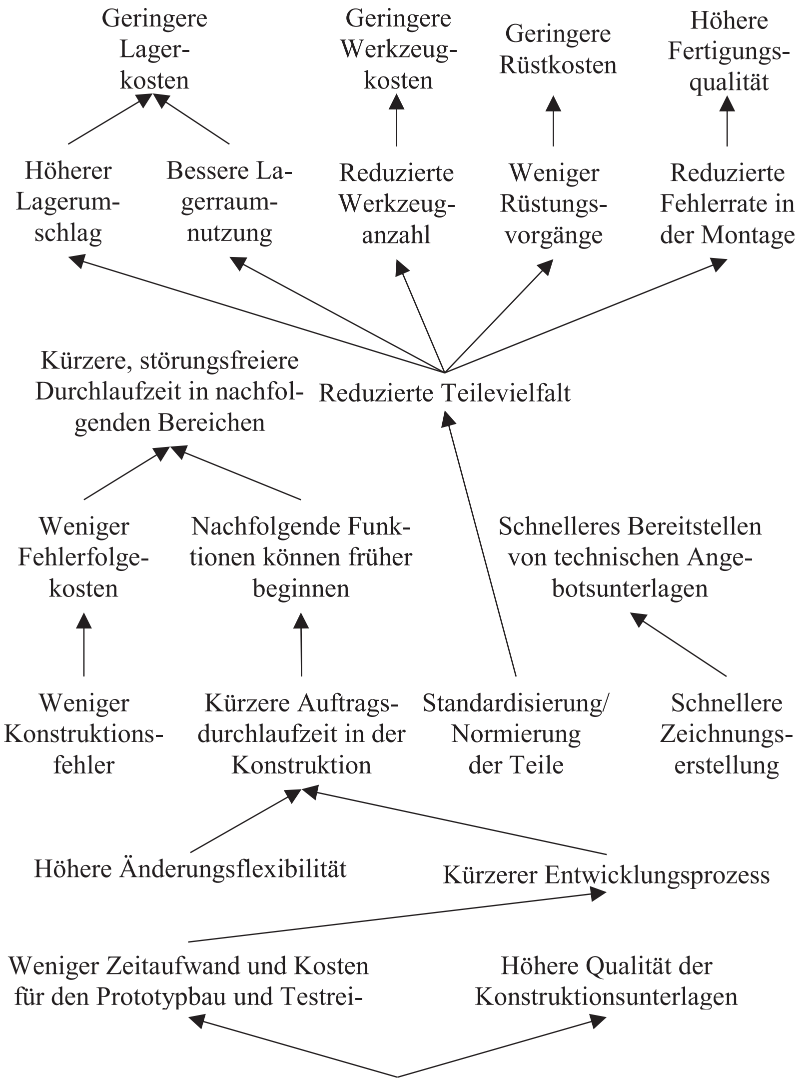


Abbildung 64: Wirkungsketten (bzw. Nutzeffekte) eines CAD-Systems nach *Schumann* (1993, S. 174)

6.6 Gründe gegen BIM

Auch wenn Aufwände und Nutzen erfasst und ermittelt werden können, kann es Gründe geben, die gegen eine Implementierung oder Anwendung von BIM sprechen. Diesen Gründen kann i.d.R. durch eine entsprechende Erhöhung des Aufwands oder durch Berücksichtigung eines verminderten Nutzens begegnet werden. Beispielsweise wird in mehreren Quellen als ein Grund gegen BIM der erforderliche Schulungsbedarf genannt (vgl. u. a. Abbildung 65). Diesem Hemmnis, dass die Verwendung von BIM einschränkt, kann z. B. durch eine erhöhte Berücksichtigung des Aufwands begegnet werden. Wenn die Anwendung von BIM auch bei Verwendung dieses erhöhten Aufwands wirtschaftlich ist, kann damit diesem Grund gegen BIM begegnet werden.

Daher dienen die Erfassung und Analyse der Gründe gegen BIM als Abgleich, ob in den vorherigen Kapiteln alle relevanten Aufwände und Nutzen berücksichtigt wurden.

Busker et al. (2017) haben im Rahmen ihrer Studie abgefragt, welche Hemmnisse die Verwendung von BIM am deutschen Bau einschränken. Die Antworten der 304 Teilnehmer (Mehrfachantworten möglich) zeigt Abbildung 65. Demnach schätzen jeweils 56 % der Umfrageteilnehmer die erforderlichen Schulungen und Investitionen als die beiden größten Hemmnisse ein. Diesen kann gut begegnet werden, wenn die tatsächlichen Aufwendungen und Nutzen bekannt und beziffert werden können. Damit wird zugleich das drittgrößte Hemmnis (volles Potenzial von BIM ist vielen unbekannt) gesenkt. Durch die Erarbeitung der AWF mit entsprechender Zuordnung von Aufwänden und Nutzen kann zudem Grund Nr. 7 „Schwer zu verstehen, was BIM genau bedeutet“ gelöst werden. Die „Blackbox“ BIM wird auf einzelne Arbeitspakete (AWF) heruntergebrochen und damit transparenter.

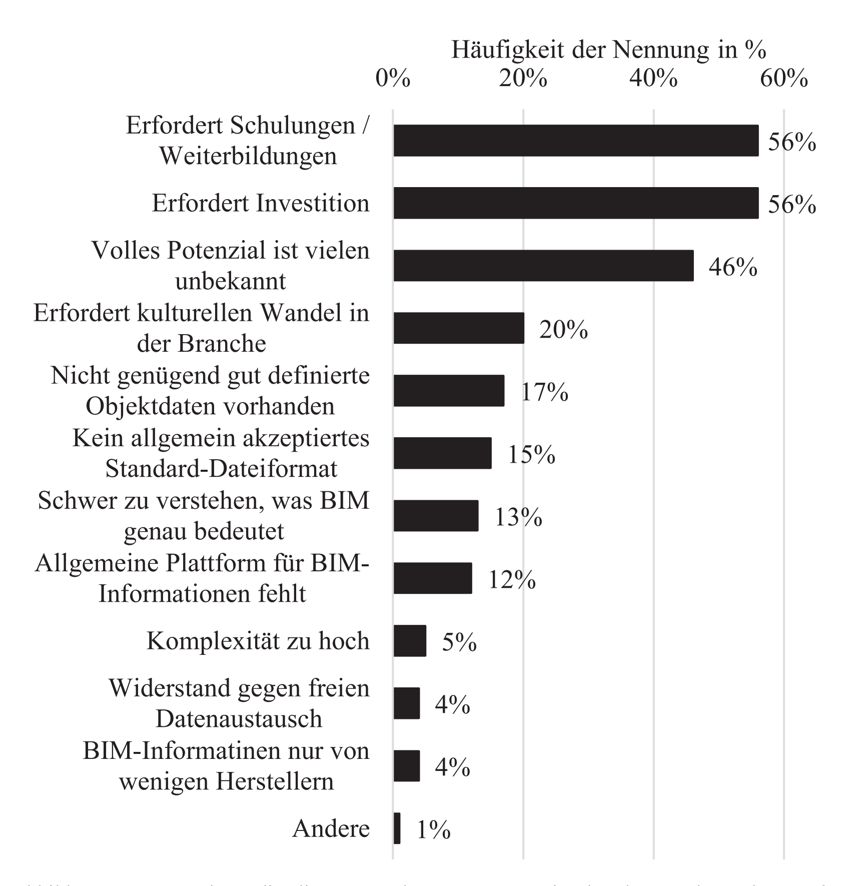


Abbildung 65: Hemmnisse, die die Verwendung von BIM einschränken nach *Busker et al.* (2017)

Konkret bezogen auf die Angebotsbearbeitung führt *Schwerdtner* (2018, S. 223 f.) exemplarische Gründe auf, warum Bauunternehmen die Erarbeitung eigener Bauwerksmodelle scheuen:

- „Der Aufwand für eine modellbasierte Angebotsbearbeitung in technischer und personeller Hinsicht wird hoch eingeschätzt.
- Es fehlt fachkompetentes Personal zur Einführung und Umsetzung der neuen Methodik.
- Ein Erfordernis zur Einführung von BIM bzw. hieraus resultierende Vorteile werden derzeit nicht gesehen.“

Gleichzeitig merkt er an, dass diese Einschätzungen in Teilen nicht auf einer sachlichen Abwägung beruhen und im Hinblick auf künftige Geschäftsmodelle kritisch überdacht werden sollten.

Auch diesen Gründen gegen BIM kann im Wesentlichen mit den Ergebnissen vorliegender Arbeit begegnet werden, denn Bauunternehmen erhalten Hilfestellungen zu erkennen, welche Aufwände es gibt und wie sie bestimmt werden können. Daraus ergibt sich, dass Beteiligte die entsprechenden Vorteile selbst ermitteln und damit für ihr jeweiliges Unternehmen beurteilen können. Einzig der Mangel an Fachpersonal verbleibt als künftig zu lösendes Problem ein Einwand bzw. Grund gegen BIM.

Eine weitere Untersuchung stammt von *Bialas et al.* (2019). Sie haben in ihrer Studie Vorteile und Hemmnisse bei der Implementierung von BIM in 134 Planungsbüros ermittelt. Davon sind 58 Unternehmen „BIM-Nicht-Anwender“, 27 Unternehmen „BIM-Umsteiger“ und 49 Unternehmen „BIM-Anwender“ (vgl. *Bialas et al.*, 2019, S. 230). Abbildung 66 zeigt die Hemmnisse der BIM-Implementierung differenziert nach den drei Kategorien. Insbesondere die Unklarheit über den wirtschaftlichen Nutzen kann durch das Modell dieser Arbeit aufgehoben werden. Damit einhergehend können die beiden Hemmnisse des Zeitaufwands und der Kosten zwar nicht aufgehoben werden, allerdings wird eine realistische Einschätzung möglich. Rechtliche und politische Rahmenbedingungen wie die Hemmnisse Nr. 3, 9, 10 und 12 bleiben bestehen, die Problematik des Fachkräftemangels wurde bereits zuvor von *Schwerdtner* (2018, S. 224) angesprochen.

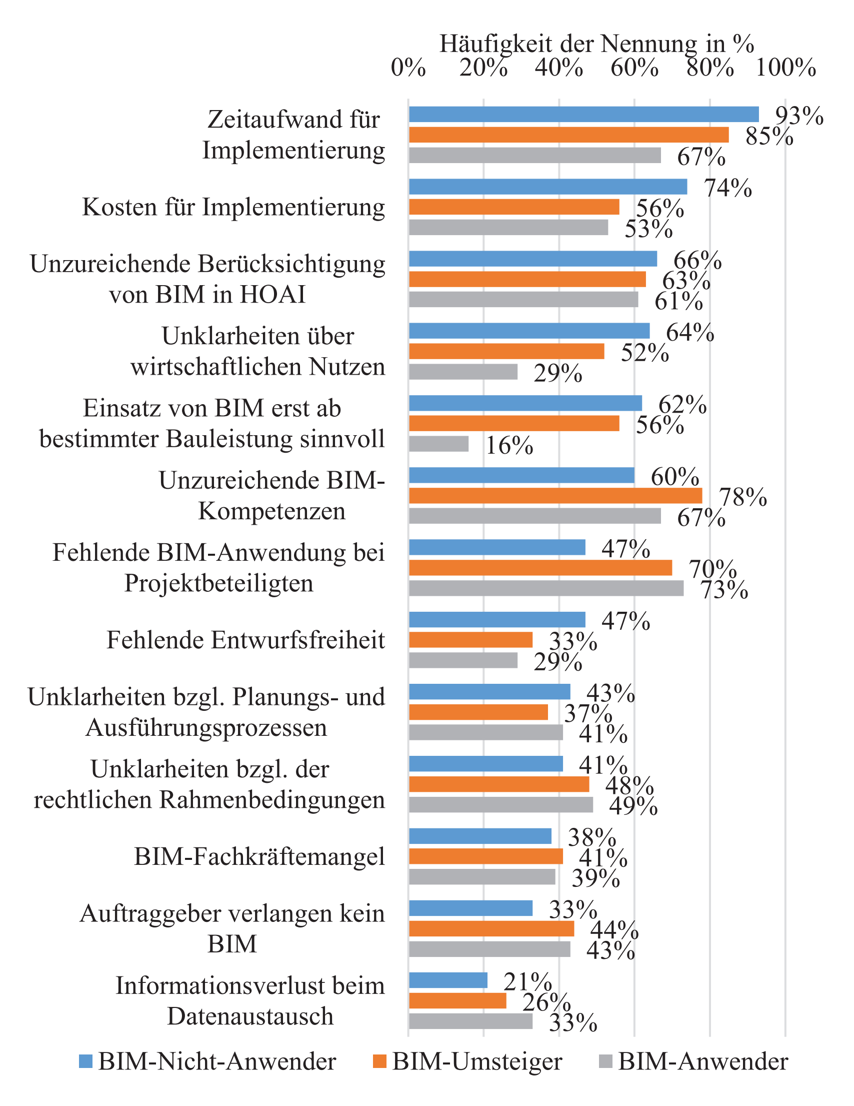


Abbildung 66: Hemmnisse bei der Implementierung von BIM nach *Bialas et al.* (2019, S. 236)

Ein weiterer Grund gegen BIM wurde in den vorherigen Untersuchungen nicht betrachtet und soll daher an dieser Stelle diskutiert werden. Etwa seit

Ende der 1980er/Beginn der 1990er Jahre wird in den IT-Wissenschaften der Nutzen von IT thematisiert. Dabei geht es um die Frage, welche Zusammenhänge zwischen IT-Investitionen und der Produktivität bestehen. Die grundlegenden Unterschiede von Bewertungsverfahren wurden in Kapitel 2.6.3 erläutert und das Problem, dass mit Hilfe der Verfahren meistens keine gesamtheitliche Betrachtung erfolgt, sondern nur einzelne Aspekte eines IT-Systems untersucht werden, hat *Schumann* (1993, S. 177) bereits festgestellt. Darüber hinaus liegt der Anlass für diese Arbeit in der mangelnden Betrachtung von Aufwänden und Nutzen von BIM in der Wissenschaft.

Das Problem, was dabei auftritt, wird als sog. Produktivitätsparadoxon der Informationstechnik bezeichnet und geht darauf zurück, dass zahlreiche empirische Studien keine signifikante positive Korrelation zwischen dem Investitionsvolumen in Informationstechnik und der Unternehmensproduktivität bzw. -rentabilität nachweisen konnten und teilweise sogar eine signifikante negative Korrelation feststellten (vgl. *Stickel*, 1997, S. 65).

Nach *Stickel* (1997, S. 67) werden in der Literatur im Wesentlichen vier Erklärungsansätze für das Auftreten des Paradoxons herangezogen, die auf die Einteilung von *Brynjolfsson* (1993) zurückgehen:

- Fehlerhafte Messungen von IT-Investitionsvolumen und Unternehmensproduktivität bzw. -rentabilität.
- Zeitliche Verzögerungen der Nutzenwirkung durch notwendigen Erfahrungsaufbau bei der Anwendung der IT aufgrund deren Komplexität.
- Einsatz von IT führt nur zu Umverteilung von Marktanteilen, nicht jedoch zu einer gesamtwirtschaftlichen Verbesserung.
- Fehleinschätzungen durch Entscheidungsträger.

Der erste Punkt ist bezogen auf BIM sicherlich zutreffend. Sofern Messungen fehlerhaft durchgeführt werden, ist es nachvollziehbar, dass Investitionen keine Produktivitätssteigerungen mit sich bringen können.

Auch die zeitlich verzögerte Nutzenwirkung spielt bei der Implementierung von BIM eine Rolle und muss berücksichtigt werden. Häufig werden in Publikationen zu BIM in diesem Zusammenhang Abwandlungen des Gartner

Hype Cycles[9] herangezogen, um die Entwicklung zu beschreiben. Diesen zeigt Abbildung 67 und stellt damit schematisch den Verlauf der Erwartungen über die Zeit bei der Einführung und Entwicklung neuer Technologien dar.

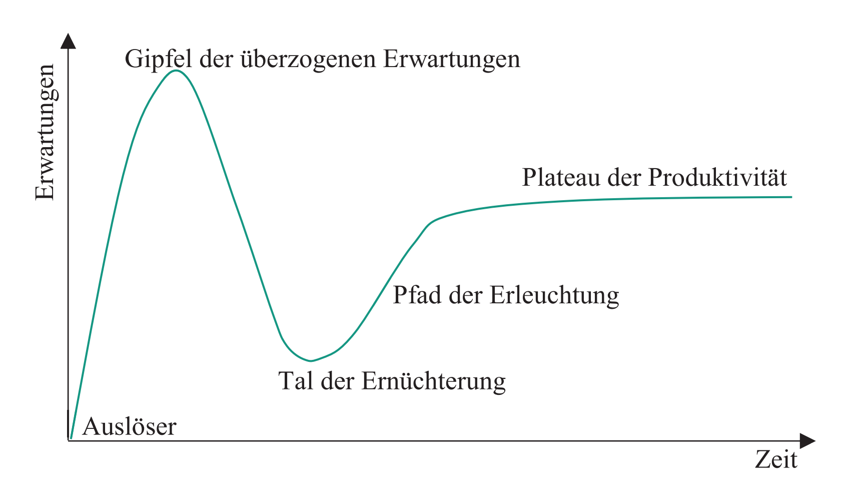


Abbildung 67: Gartner-Hype-Cycle (qualitative Darstellung)

Eine neue Erfindung oder Entwicklung ist der Auslöser, womit zunächst hohe Erwartungen geweckt werden. Diese werden i.d.R. nach kurzer Zeit gedämpft, da unerwartete Probleme auftreten oder die Erwartungen nicht sofort erfüllt werden. Man fällt in ein Tal der Ernüchterung, das häufig sogar unterhalb des auslösenden Erwartungsniveaus liegen kann (hier nicht dargestellt). Erst danach treten schrittweise Verbesserungen ein, bevor idealerweise ein gegenüber dem Auslöseniveau höheres Erwartungsniveau (im Sinne einer gesteigerten Produktivität) durch die neue Technologie erreicht wird.

Der dritte Erklärungsansatz des Produktivitätsparadoxons bezieht sich darauf, dass durch die Einführung von IT keine Produktivitätssteigerung entsteht, da lediglich Marktanteile umverteilt werden. Es wird die Annahme

[9] Der Gartner Hype Cycle stammt vom US-amerikanischen Marktforschungsinstitut für IT Dienstleistungen Gartner Inc.

getroffen, dass Unternehmen die IT einführen, Marktanteile von Unternehmen übernehmen, die die IT nicht einführen und in Summe die Produktivität demnach nicht zunehme. *Stickel* (1995) weist in einem mikroökonomischen Modell nach, dass dieser Umstand in einer Duopol[10]-Situation eintreten kann. Im Zusammenhang mit BIM liegen keine Untersuchungen vor, die diese Annahme belegen oder widerlegen. Des Weiteren handelt es sich beim Baumarkt nicht um ein Duopol.

Der abschließende Erklärungsansatz, dass durch IT-Investitionen keine Produktivitätssteigerungen entstehen, wenn Entscheidungsträger Fehleinschätzungen treffen, kann als zutreffend bezeichnet werden.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass es verschiedene Gründe gibt, die gegen eine Einführung oder Anwendung von BIM sprechen können. In überwiegender Form lassen sich diese Punkte durch genauere Betrachtungen widerlegen oder entkräften. Insbesondere rechtliche und politische Rahmenbedingungen sowie der aktuell vorherrschende Fachkräftemangel bleiben allerdings als nicht zu vernachlässigende Punkte bestehen, die bei einer Entscheidung für oder gegen BIM berücksichtigt werden müssen.

[10] Aus dem Griechischen. Hierbei treffen eine Vielzahl von Nachfragern auf genau zwei Anbieter.

7 Modellierung der Wirtschaftlichkeit von BIM

7.1 Herleitung des Modellgedankens

7.1.1 Vorbemerkungen

Es stellt sich die Frage, wie die erarbeiteten AWF sowie die Aufwände, Nutzen, Indikatoren und Metriken zusammengebracht werden können, um Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von BIM treffen zu können. Dazu werden ein Modell entwickelt sowie dessen einzelne Bestandteilte schrittweise vorgestellt und erklärt. Ausgangssituation bilden die in Kapitel 6.5 vorgestellten Wirkungsketten.

Auch bei der Anwendung von AWF entstehen mehrere Wirkungsketten, wie Abbildung 68 schematisch zeigt. Die Abhängigkeiten der AWF werden im Rahmen dieser Arbeit durch die Bestimmung der Input-Output-Beziehungen der AWF (vgl. Kapitel 7.1.2) beschrieben, um darauf aufbauend die Aufwände und Nutzen in der Theorie für einzelne AWF erklären zu können (vgl. Kapitel 7.1.3).

Die in Abbildung 68 verwendeten Variablen i, a, n, x, y und z können gemäß Tabelle 25 von 1 bis zur Höchstzahl ihrer Ebene laufen, wobei diese i.d.R. unbegrenzt ist, da eine abschließende Aufzählung an Implementierungsaufwänden, Anwendungsaufwänden, Nutzen, Indikatoren und Metriken nicht möglich ist. Gleiches gilt künftig auch für die Höchstzahl der AWF. Im Rahmen dieser Arbeit wird sich jedoch auf die 36 erarbeiteten AWF beschränkt und diese damit als Höchstzahl definiert. Die einzelnen tatsächlichen Zuordnungen zu den AWF sind in Anhang D dargestellt.

Tabelle 25: Variablen zur Beschreibung der AWF, Aufwände, Nutzen, Indikatoren und Metriken

Ebene	Variable	Höchstzahl
Implementierungsaufwand	i	unbegrenzt
Anwendungsaufwand	a	unbegrenzt
AWF	n	36
Nutzen	x	unbegrenzt
Indikator	y	unbegrenzt
Metrik	z	unbegrenzt

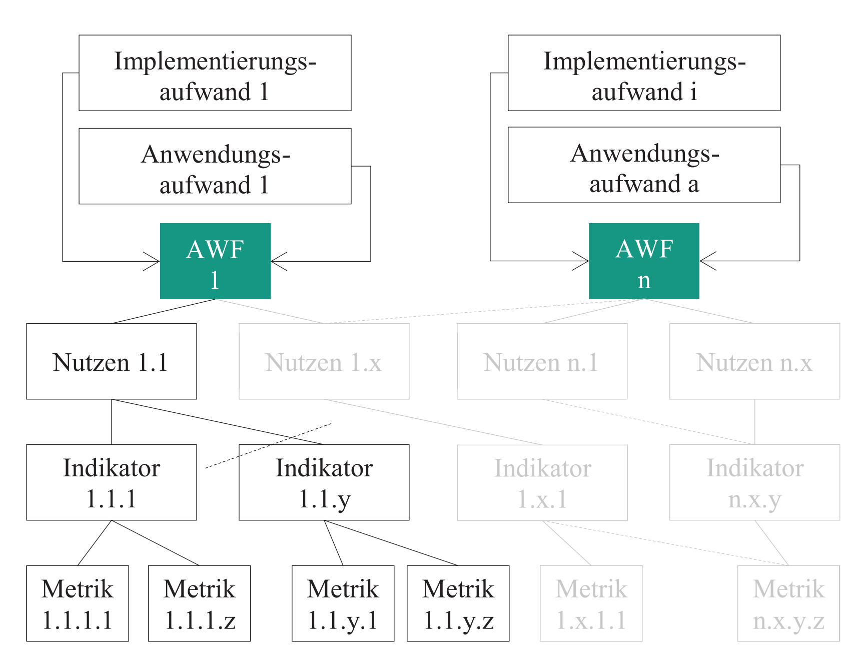


Abbildung 68: Schematische Darstellung der AWF-Nutzen-Indikator-Metrik Abhängigkeiten

Bei der Anwendung eines AWF kann das auftretende Problem relativ einfach beschrieben bzw. gelöst werden, indem für den entsprechenden AWF (hier AWF 1) der zugehörige Implementierungsaufwand 1 und der zugehörige Anwendungsaufwand 1 bestimmt wird. Aus der Anwendung entstehen mindestens ein (Nutzen 1.1) oder weitere Nutzen des AWF (Nutzen 1.x). Diese Nutzen können mit geeigneten Indikatoren bestimmt werden. Für einen Nutzen kann es einen oder mehrere Indikatoren geben. So kann der erste Nutzen des AWF 1 (Nutzen 1.1) mit Hilfe der für ihn geeigneten Indikatoren 1.1.1 bis 1.1.y bestimmt werden. Zur genauen Erfassung stehen wiederum zugehörige Metriken bereit. Für Indikator 1.1.1. beispielsweise die ihm zugehörige Metrik 1.1.1.1 oder weitere Metriken bis 1.1.1.z. Indikator 1.1.y kann mit den Metriken 1.1.y.1 bis 1.1.y.z gemessen werden. Allerdings kann es sein, dass zur Messung des Indikators 1.1.y eine Metrik des Indikators 1.1.1 (hier die Metrik 1.1.1.z) geeignet ist, wie die schwarze gestrichelte Verbindungslinie symbolisiert. Erste Überschneidungen entstehen, die für einen AWF jedoch leicht handhabbar sind.

Deutlich komplexer stellen sich die Abhängigkeiten dar, wenn mehrere AWF angewendet werden und zugehörige Nutzen, Indikatoren und Metriken hinzukommen (in Abbildung 68 grau dargestellt). So entsteht durch AWF n der Nutzen n.1 bis Nutzen n.x. Nutzen n.x. kann wiederum mittels für ihn geeigneter Indikatoren n.x.1 bis n.x.y beschrieben werden. Für Indikator n.x.y. stehen die Metriken n.x.y.1 bis n.x.y.z bereit. Nur ansatzweise sind weitere grau gestrichelte Verbindungslinien dargestellt, die Überschneidungen andeuten. So kann aus AWF n ggfs. auch ein Nutzen entstehen, der mit AWF 1 erzielt wird (hier Nutzen 1.x). Daraus entstehen die bereits angesprochenen Nutzeninterferenzen. Gleichzeitig steigt dadurch die Anzahl der Abhängigkeiten deutlich an.

Mit diesen Überlegungen hat sich *Dakhil* (2017) in einer vereinfachten (vgl. nächster Absatz) Form beschäftigt und dabei die Zusammenhänge zwischen den folgenden vier Bereichen untersucht:

- BIM-Anwendungsfälle
- Anforderungen der AWF (kann hier als Implementierungsaufwand der AWF verstanden werden)

- Reife der Kompetenzen (kann hier als Anwendungsaufwand der AWF verstanden werden)
- Nutzen der AWF

Als Ergebnis seiner Untersuchungen, die auf Literaturrecherchen, Fallstudien und Interviews basieren, allerdings einen Fokus auf die Sichtweise des Bauherrn haben, hat er im Rahmen seiner Dissertation in überwiegend theoretischer Form den sog. Rahmen zur Bewertung der BIM-Reife-Nutzen-Beziehungen entwickelt (vgl. *Dakhil*, 2017, S. 146). Für ausgewählte AWF hat er diese Beziehungen konkret beschrieben. Seine Vorgehensweise wird kurz skizziert.

Zunächst hat er mit Hilfe einer Literaturrecherche 16 Nutzen von BIM für Bauherren in allgemeiner Form identifiziert und festgestellt, dass sich diese Nutzen nicht pauschal realisieren lassen, sondern in Abhängigkeit zu den angewendeten AWF stehen. Daher hat er im nächsten Schritt für 21 AWF mit einer weiteren Literaturrecherche jeweils die sich aus einer Anwendung ergebenden Anforderungen an den Bauherren zusammengetragen. Im dritten Schritt hat er 19 Kompetenzen erarbeitet, die ein Bauherr im Zusammenhang mit BIM aufweisen kann. In Abhängigkeit der tatsächlich vorhandenen Kompetenzen werden die Anforderungen der Anwendungsfälle unterschiedlich erfüllt. Je nach Erfüllungsgrad lassen sich dadurch unterschiedliche Nutzen erzielen oder nicht. Nur mit entsprechendem Verständnis für BIM, lässt sich die Methode erfolgreich und damit nutzbringend anwenden. Anders ausgedrückt bedeutet es, Nutzen können nur realisiert werden, wenn das entsprechende Verständnis vorhanden ist. Der aus der Anwendung des AWF resultierende Nutzen hängt somit von den vorhandenen Kompetenzen ab. Die vorhandenen Kompetenzen lassen sich in verschiedene Reifegrade einteilen. Anhand des jeweiligen Reifegrads lassen sich dann Aussagen über den zu erwartenden Nutzen treffen.

Abbildung 69 zeigt seinen Rahmen zur Bewertung der BIM-Reife-Nutzen-Beziehungen als schematische Darstellung. Die einzelnen Anwendungsfälle („BIM Uses“, blau dargestellt) stellen unterschiedliche Anforderungen („BIM Uses Requirements“, grün dargestellt) an die Anwender und jede An-

forderung bedarf unterschiedlich ausgereifter Kompetenzen („Maturity Competencies“, orange dargestellt). Je nachdem, welche AWF ein Bauherr anwenden möchte, ergibt sich eine spezifische AWF-Anforderungskombination, die wiederum eine bestimmte Kompetenzkombination ergibt. In Abhängigkeit der Reife der benötigten Kompetenzen ergibt sich der realisierbare Nutzen („BIM Uses Beneftis“, lila dargestellt).

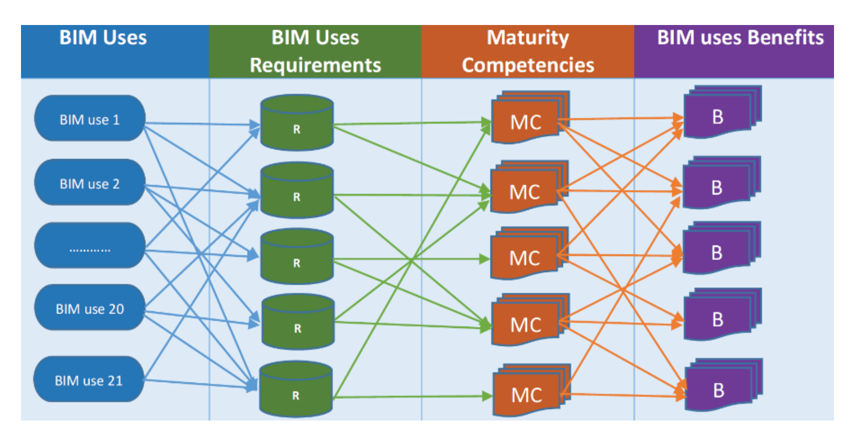


Abbildung 69: Rahmen zur Bewertung der BIM-Reife-Nutzen-Beziehungen (*Dakhil*, 2017, S. 146)

Die Arbeit von *Dakhil* (2017) bildet damit die Ausgangsbasis zur Zuordnung der erfassten Aufwände und Nutzen zu den AWF. Allerdings lag sein Fokus nicht auf der Zuordnung und Beschreibung entsprechender Indikatoren und Metriken. Erst dadurch wird es möglich, AWF tatsächlich erfassen und bewerten zu können.

Des Weiteren lag sein Untersuchungsfokus nicht auf den Abhängigkeiten der AWF untereinander. Daher werden in Kapitel 7.1.2 zunächst diese Abhängigkeiten betrachtet, wobei erschwerend hinzu kommt, dass AWF in unterschiedlichen Projektphasen und von verschiedenen Projektbeteiligten angewendet werden.

Die drei folgenden Abbildungen zeigen die Verteilungen der Anzahl der AWF nach Projektbeteiligten und Projektphasen, differenziert nach Autor

(Abbildung 70) und Nutzer (Abbildung 71) bzw. in Abbildung 72 die Ergebnisse in Summe (vgl. hierzu auch Kapitel 2.4). Diese Zuordnungen basieren auf den Ergebnissen aus Kapitel 5.3.

Es wird deutlich, dass meistens Objektplaner die **Autoren** von AWF sind, gefolgt von den Bauunternehmen und Fachplanern. Diese drei Rollen erbringen somit die meisten Arbeiten an und mit Bauwerksmodellen. Auch zeigt sich eine klare zeitliche Verteilung der typischen Rollen. Objekt- und Fachplaner sind die Autoren in der Planungsphase, wohingegen Bauunternehmer die Autoren in der Realisierungsphase sind.

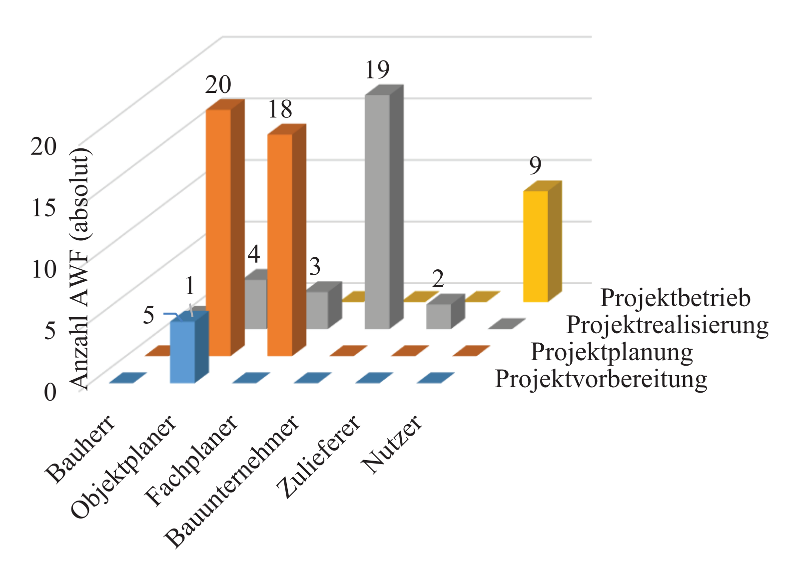


Abbildung 70: Verteilung der AWF-Autoren nach Projektbeteiligten und Projektphasen

Bei Betrachtung der Verteilung der **Nutzer** der AWF zeigt sich ein anderes Bild. Die größten Nutzer der AWF sind die Bauherren, da sie die Ergebnisse in unterschiedlichster Weise für ihre Entscheidungen verwenden. Gleichzeitig wird deutlich, dass Planer fast keine AWF nur nutzen. An dieser Stelle

muss die Begriffsdifferenzierung zwischen Autor und Nutzer nochmal hervorgehoben werden. Autoren erstellen die für den AWF notwendigen Modelle und wenden den AWF damit aktiv an. Sie können ihn gleichzeitig nutzen, um ihre Leistungen zu erbringen. Nutzer hingegen nutzen den AWF bzw. seine Ergebnisse lediglich und erstellen bzw. fügen den Modellen keine Informationen hinzu.

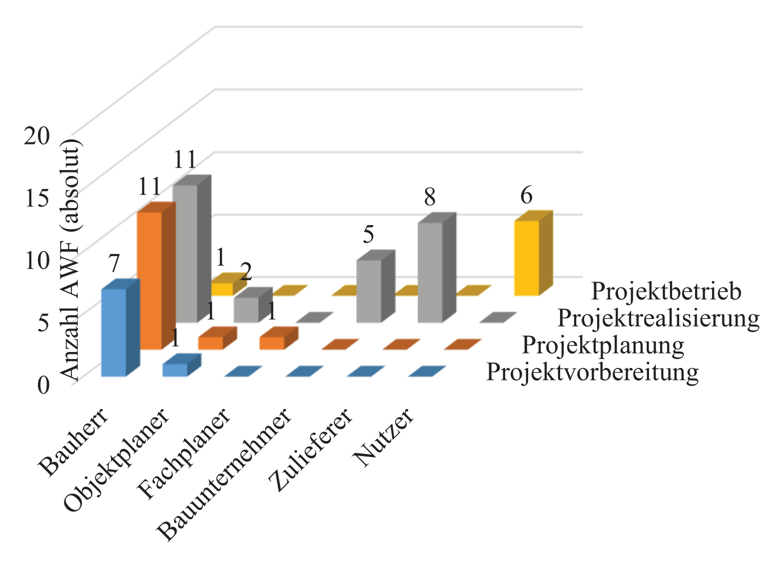


Abbildung 71: Verteilung der AWF-Nutzer nach Projektbeteiligten und Projektphasen

Abschließend zeigt Abbildung 72 die Ergebnisse in Summe. Die insgesamt höchste Beteiligung an AWF haben Objektplaner in der Projektplanung und Bauunternehmer in der Projektrealisierung. Der maximal mögliche Wert beträgt 36, wenn eine Projektrolle in einer Projektphase an allen AWF beteiligt wäre. Dabei handelt es sich jedoch nur um einen theoretischen Wert, da nicht jeder AWF in allen Projektphasen angewendet wird.

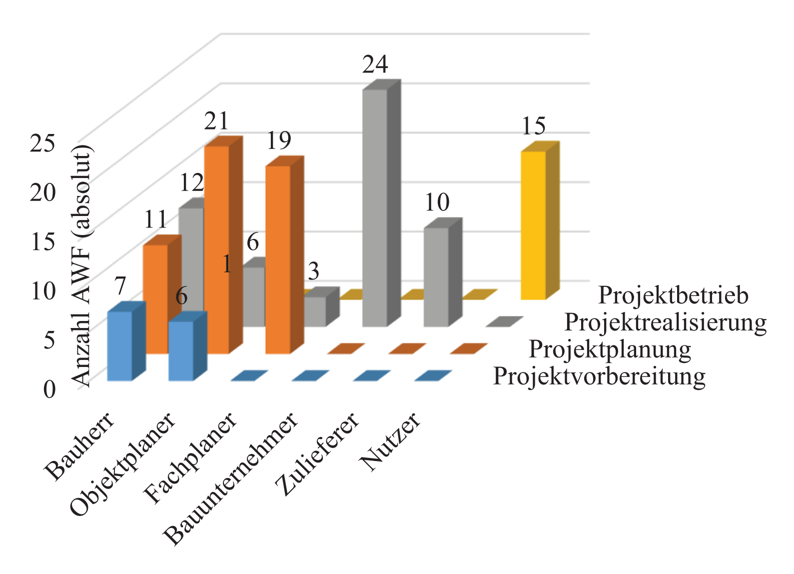


Abbildung 72: Verteilung der AWF Autoren und Nutzer (in Summe) nach Projektbeteiligten und Phasen

7.1.2 Input-Output-Beziehungen der AWF

Bisher wurden die Abhängigkeiten der AWF untereinander nicht betrachtet. Diese Abhängigkeiten werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Input-Output-Beziehungen der AWF bezeichnet. Es stellt sich die Frage, welche AWF ggfs. aufeinander aufbauen und damit einander bedingen. Die Beantwortung der Frage ist für alle Beteiligten von großem Interesse. Dadurch wird ein Überblick möglich, welche AWF wann angewendet werden können bzw. welche AWF vorher anzuwenden sind, wenn ein bestimmter anderer AWF eingesetzt werden soll. Dazu wurde für jeden AWF untersucht, welche AWF er benötigt (Input-AWF) und welche AWF dadurch anwendbar werden (Output-AWF). Exemplarisch wird das Vorgehen an AWF Nr. 8 „Bauablaufplanung (4D-Planung) skizziert und in Abbildung 73 dargestellt. Die für diesen AWF spezifische Zuordnung der Projektbeteiligten und Projektphasen wurde bereits in Kapitel 5.3 Tabelle 22 vorgestellt.

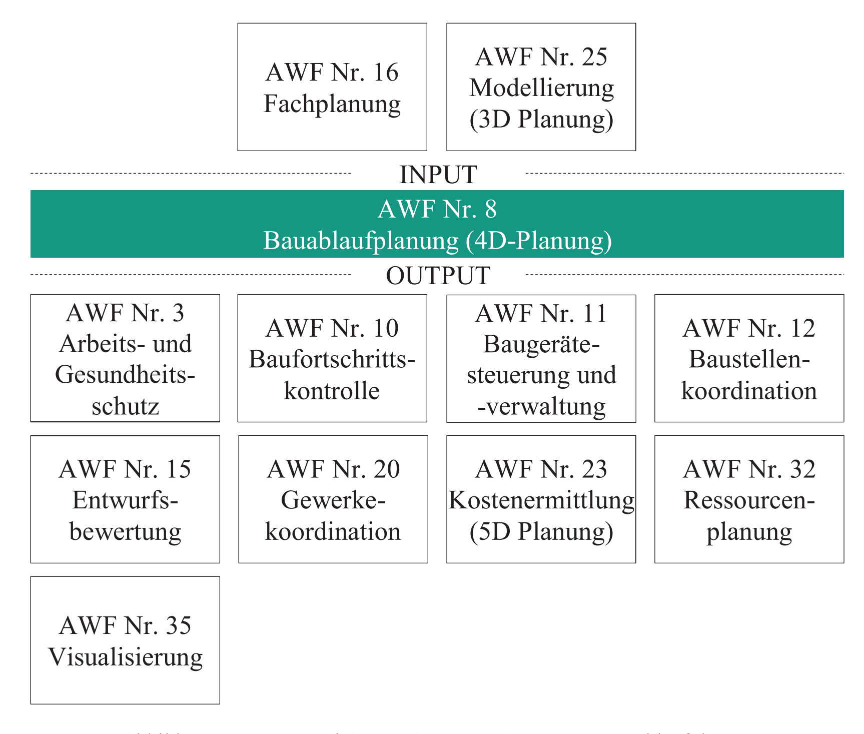


Abbildung 73: Input- und Output AWF von AWF Nr. 8 Bauablaufplanung

Der wesentliche notwendige Input für diesen AWF ist AWF Nr. 25, die Modellierung (3D Planung) selbst. Dadurch sind die geometrischen Strukturen, parametrischen Abhängigkeiten und somit die Mengen sowie die Eigenschaften der Objekte und damit des Bauwerks bekannt. Je nach Umfang der Anwendung der AWF kann es zudem sein, dass modellbasierte Fachplanungen (AWF Nr. 16) erbracht werden, die zur Erarbeitung der Bauablaufplanung ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Die Input-AWF für AWF Nr. 8 bilden somit AWF Nr. 16 und 25.

Die Bauablaufplanung selbst wird für mehrere AWF zum Input. Diese AWF sind somit die Output-AWF des AWF selbst. Die Bauablaufplanung findet

Berücksichtigung beim Arbeits- und Gesundheitsschutz (AWF Nr. 3), ist die Basis der Baufortschrittskontrolle (AWF Nr. 10), wird benötigt zur Baugerätesteuerung und -verwaltung (AWF Nr. 11) sowie für die Baustellenkoordination (AWF Nr. 12), hat Einfluss auf die Entwurfsbewertung (AWF Nr. 15), dient der Gewerkekoordination (AWF Nr. 20), bedingt die Kostenermittlung (AWF Nr. 23) und steuert unmittelbar die Ressourcenplanung (AWF Nr. 32) und die Visualisierung (AWF Nr. 35). Abschließend zeigt Tabelle 26 die Darstellungsform gemäß den Steckbriefen aus Anhang D.

Diese Überlegungen und Zuordnungen wurden für jeden der 36 AWF durchgeführt. Im Ergebnis können dadurch die Abhängigkeiten der AWF in Form eines Input-Output-Modells abgebildet werden. Es ist zur besseren Lesbarkeit zweigeteilt in Abbildung 74 und Abbildung 75 dargestellt. Anzumerken ist, dass projektindividuelle Besonderheiten zu Abweichungen der hier erarbeiteten Anordnungsbeziehungen führen können. Dies geht im Wesentlichen auf die Erklärungen in Kapitel 2.5.1 und Abbildung 10 zurück. Das Input-Output-Modell darf daher nicht als allgemeingültiges Modell verstanden werden, sondern als Hilfestellung, um eine erste Ausgangssituation über die Abhängigkeiten der AWF untereinander herstellen zu können.

Konkret bezogen auf AWF Nr. 8 ist die Anwendung des Input-Output-Modells in Abbildung 76 und Abbildung 77 dargestellt. Daraus wird erneut ersichtlich, dass AWF Nr. 8 (grün dargestellt) als Input die AWF „Fachplanung“ und „Modellierung“ benötigt (orange dargestellt). Allerdings besitzt AWF Nr. 8 insgesamt neun Output-AWF (blau dargestellt). Deren tatsächliche Anwendbarkeit ist jedoch getrennt zu betrachten bzw. deren ggfs. zusätzlich benötigen Input-AWF zu bestimmen. Die Abbildungen verdeutlichen, dass der AWF „Visualisierung“ ohne weitere Input-AWF auskommt, da er maximal nur AWF „Modellierung“, „Fachplanung“ und „Bauablaufplanung“ benötigt und direkt als zusätzlicher Nutzen (im Sinne der Verwendbarkeit eines weiteren AWF) angewendet werden könnte. AWF „Baustellenkoordination“ benötigt hingegen als zusätzlichen Input AWF „Bestandserfassung“, was mit zusätzlichem Aufwand verbunden ist. Auf Basis der Zuordnungen im Input-Output-Modell können Anwender der Methode BIM entsprechende Entscheidungen für ein Projekt treffen, welche

AWF angewendet werden sollen und erhalten gleichzeitig eine Übersicht welche AWF ggfs. zusätzlich notwendig werden oder als Potenzial zusätzlich umgesetzt werden könnten.

Tabelle 26: Input- und Output AWF von AWF Nr. 8 Bauablaufplanung

Bezeichnung	**Nr. 8 Bauablaufplanung (4D Planung)**
Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung	Arbeits- und Gesundheitsschutz
Modellierung (3D Planung)	Baufortschrittskontrolle
	Baugerätesteuerung und -verwaltung
	Baustellenkoordination
	Entwurfsbewertung
	Gewerkekoordination
	Kostenermittlung (5D Planung)
	Ressourcenplanung
	Visualisierung

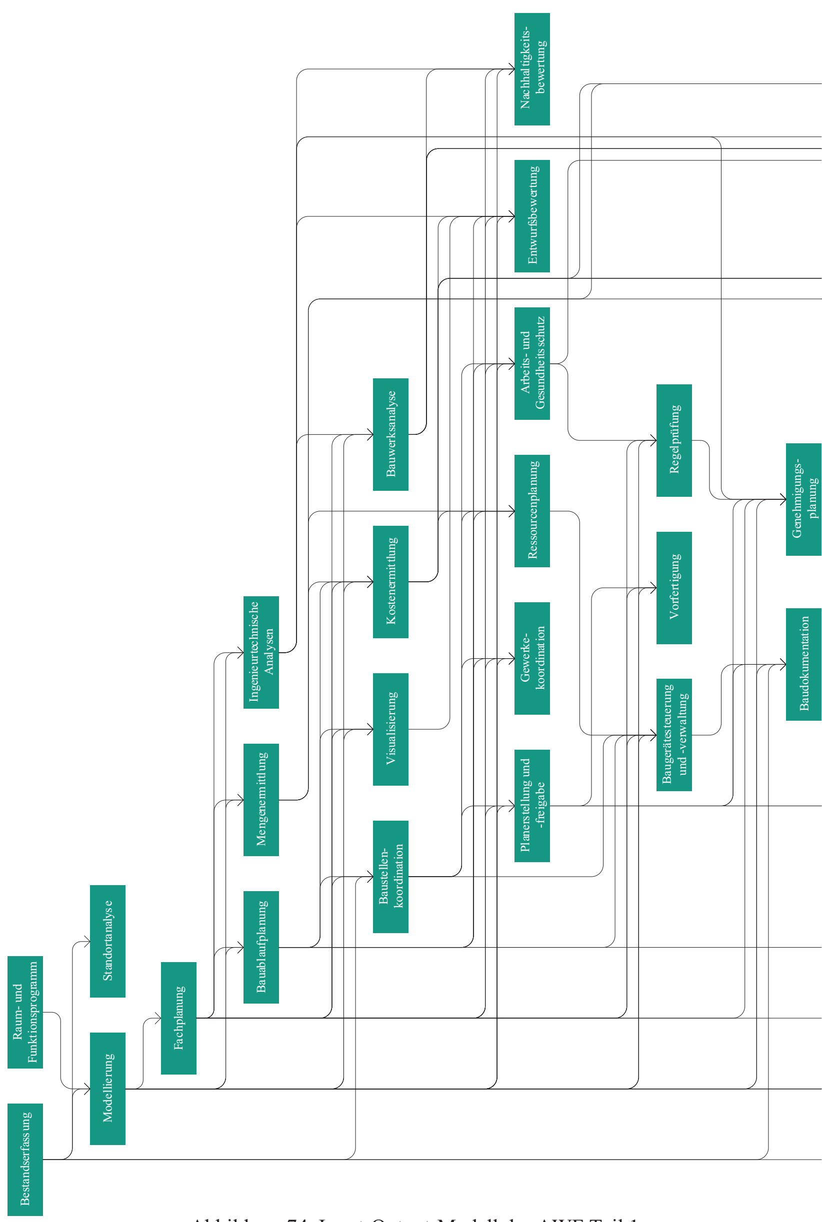


Abbildung 74: Input-Output-Modell der AWF Teil 1

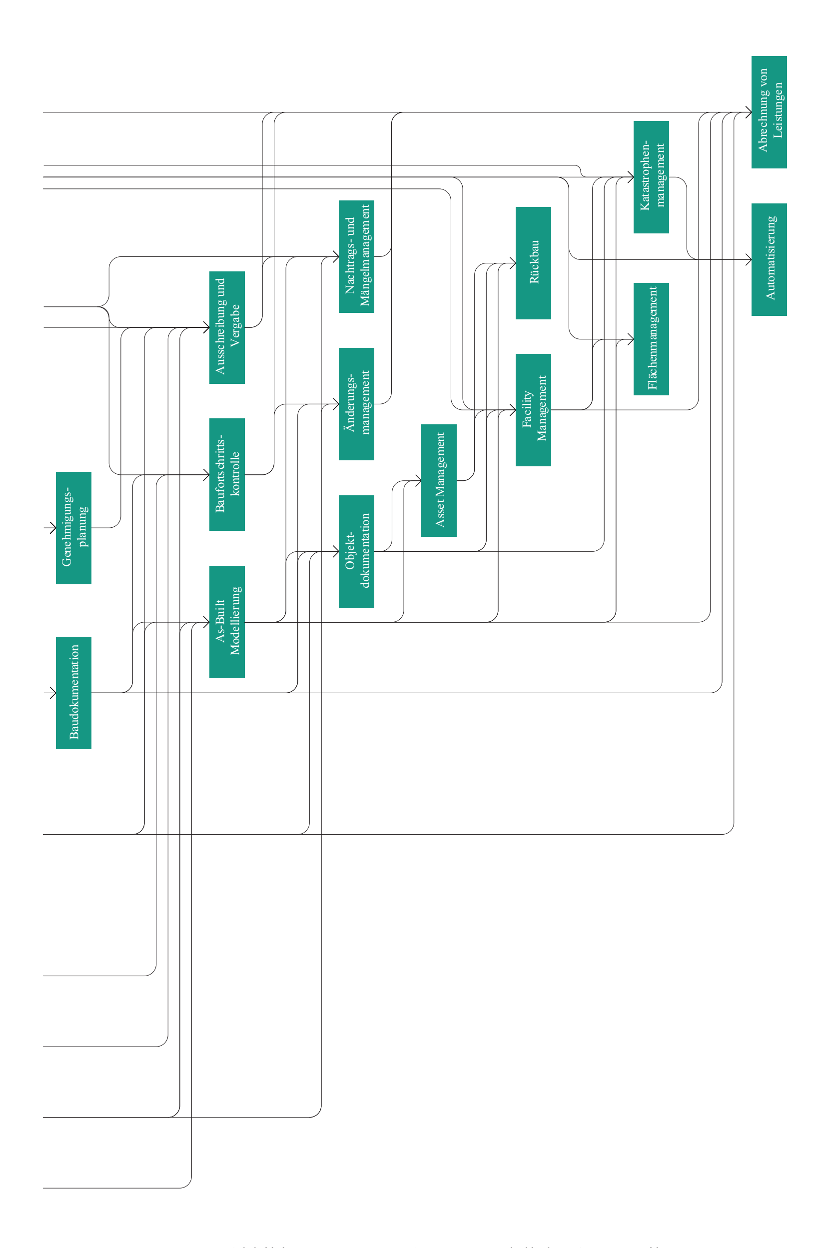


Abbildung 75: Input-Output-Modell der AWF Teil 2

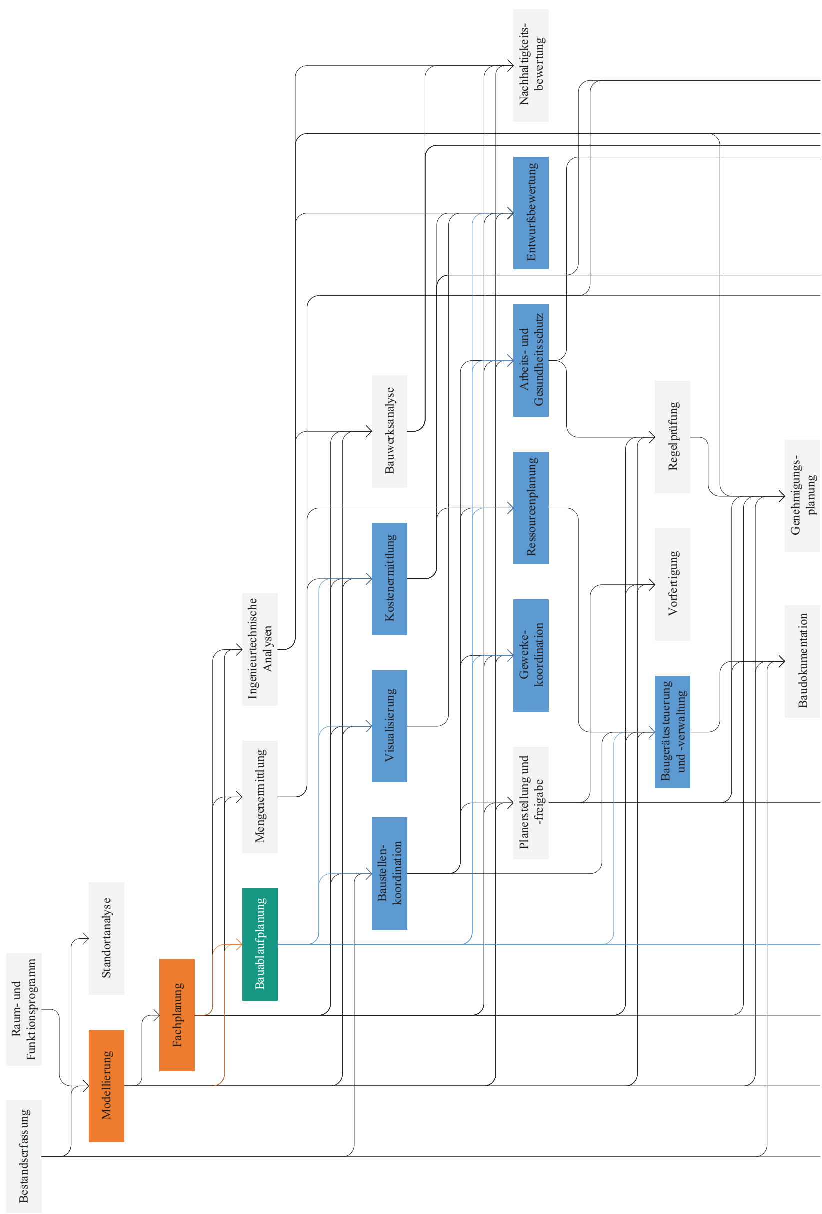


Abbildung 76: Anwendung des Input-Output-Modells für AWF Nr. 8 Teil 1

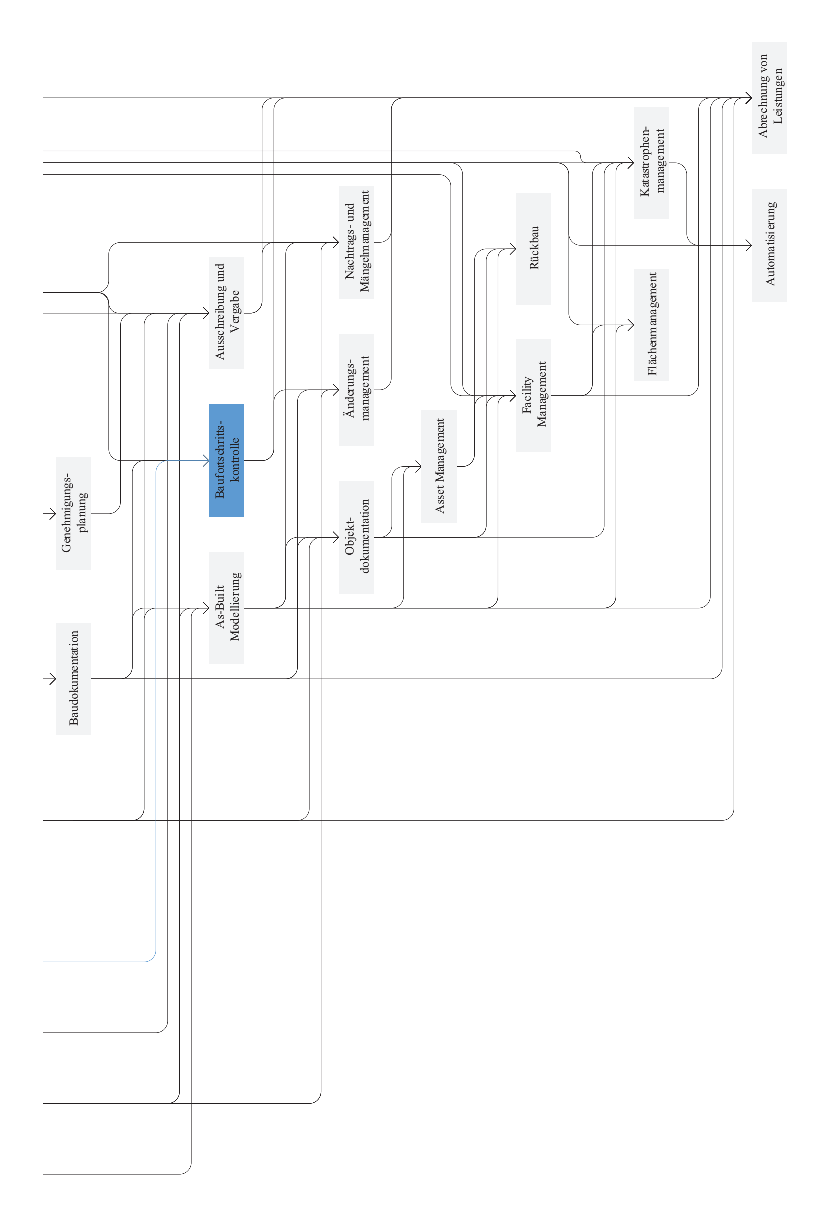


Abbildung 77: Anwendung des Input-Output-Modells für AWF Nr. 8 Teil 2

7.1.3 Zuordnung der Aufwände, Nutzen, Indikatoren und Metriken

Durch das Input-Output-Modell der AWF ist bekannt, wie die AWF zusammenhängen. Noch nicht näher beschrieben sind die Abhängigkeiten der Aufwände und Nutzen der AWF untereinander sowie die Einordnung der Indikatoren und Metriken. Die Vorgehensweise wird dazu erneut exemplarisch an Hand von AWF Nr. 8 (Bauablaufplanung) beschrieben. Die Beziehungen wurden auch für die verbleibenden 35 AWF erarbeitet und finden sich in Anhang D.

AWF Nr. 8 wird in allen fünf Quellen erwähnt (vgl. Tabelle 20 und Tabelle 21). Somit liegen umfassende Informationen über den Aufwand und Nutzen vor, die zusammengeführt werden. Als notwendige Ressourcen beschreibt das *Computer Integrated Construction Research Programm* (2011, S. 69) das Vorhandensein von Modellierungssoftware, Terminplanungssoftware und Software, die Modell und Terminplan verbinden kann (4D Software). Darüber hinaus müssen folgenden Kompetenzen vorhanden sein:

- Wissen über Bauterminplanung und allgemeine Bauabläufe. Sie weisen darauf hin, dass auch ein 4D Modell nur so gut sein kann, wie der zugrundliegende Terminplan.[1]
- Fähigkeit ein Bauwerksmodell zu bearbeiten, prüfen und darin zu navigieren.
- Wissen in der Anwendung von 4D-Software (Import von geometrischen Objekten, Verknüpfung mit dem Terminplan und Erzeugung von Ablaufvisualisierungen).

Ergänzend dazu beschreiben *Borrmann et al.* (2019, S. 26) als Implementierungsvoraussetzungen, dass auf Auftraggeberseite 4D-Software zur Visualisierung und Auswertung von 4D-Modellen vorhanden sein muss. Der Auftragnehmer muss über Kenntnisse und Techniken zur Terminplanerstellung

[1] Im Hinblick auf aktuellere Entwicklungen, bei denen erste Entwürfe für den Terminplan nicht vom planenden Ingenieur, sondern auf Basis der Auswertung bestehender Daten und somit generativ von Software erstellt wird, kann dieser Zusammenhang relativiert werden.

und -verknüpfung mit dem Modell verfügen und ebenfalls geeignete Software einführen. Sowohl AG als auch AN müssen bei Bedarf entsprechende Schulungen in Anspruch nehmen, um die Software anwenden zu können. Nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 48) wird der Schulungsaufwand jedoch als gering eingeschätzt. Zusammenfassend fallen damit als Implementierungskosten für AWF Nr. 8 an:

- Ggfs. Kosten für Beratung zur Softwareauswahl
- Kosten für 4D-Software (sofern Kauflizenz)
- Anpassung/Erweiterung vorhandener Hardware (wenn notwendig)
- Arbeitsaufwand für das Einrichten der Software
- Arbeitsaufwand für Schulungen (wenn notwendig)

Anschließend ist die Implementierung abgeschlossen und der AWF kann verwendet werden. Nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 49) ist die Erstellung oder Aktualisierung von 4D-Modellen i.d.R. mit einem Mehraufwand verbunden. Der Aufwand hängt stark vom zugrundeliegenden Bauwerksmodell ab. Im Wesentlichen geht es dabei um die Frage, ob das Modell so erstellt ist, dass einzelne Terminobjekte direkt verfügbar sind. Beispielsweise kann eine Bodenplatte vom Planer als ein Objekt modelliert werden. Häufig entspricht dieses Objekt nicht den benötigten Terminobjekten. Am Beispiel der Bodenplatte wird wahrscheinlich eine nachträgliche Untergliederung des Objekts Bodenplatte in einzelne Betonierabschnitte notwendig. Dieser Umstand beeinflusst maßgeblich den Aufwand der 4D-modellbasierten Bauablaufplanung. In Summe sind somit die folgenden Anwendungskosten zu berücksichtigen:

- Arbeitsaufwand zur Anwendung (Personalkosten)
- IT-bezogene Umlage für PC und/oder Notebook, Peripheriegeräte, Speicher, Netzwerkanschluss etc.
- Kosten für 4D-Software (sofern Mietlizenz)

Gleichzeitig beschreiben *BIM4Infra2020* (2018, S. 49), dass durch die Erstellung des 4D-Modells eine implizite Prüfung der Daten auf Vollständigkeit erfolgt. Durch die Visualisierung des Bauablaufs wird die gemeinsame Koordination erleichtert und Abstimmungen somit effizienter, wodurch Aufwände eingespart werden. Eingesparte Aufwände werden im Rahmen dieser

Arbeit den Nutzen zugeordnet (vgl. dazu Abbildung 15). *Borrmann et al.* (2019, S. 26) nennen die folgenden weiteren Nutzen:

- „Lückenloser Terminplan durch automatische Aufdeckung enthaltener Unregelmäßigkeiten während der Verknüpfung von Modellelementen und Terminplan
- Erhöhte Terminsicherheit durch vereinfachte Kommunikation innerhalb bearbeitender Projektteams
- Akzeptanzsteigerung von Projekten von öffentlichem Interesse durch Visualisierung der Maßnahme und verbesserte Kommunikation
- Validierung der Machbarkeit gemäß Terminplanung, unter anderem anhand des visualisierten Bauablaufs"

Das *Computer Integrated Construction Research Programm* (2013, S. 69) beschreibt weiterhin, dass durch die 4D Bauablaufplanung der Bauherr und die übrigen Projektbeteiligten ein besseres Verständnis für die einzelnen Bauphasen und den kritischen Pfad erhalten. Gleichzeitig kann das 4D-Modell Marketingzwecken oder der Öffentlichkeitsarbeit dienen.

Bisher unklar ist, wie die Nutzen bestimmt werden können. Hier helfen die in dieser Arbeit ausgewerteten Zuordnungen von *Sanchez et al.* (2016) weiter (vgl. Kapitel 5.2.3 und 6.2.2), die in Tabelle 27 für den exemplarischen AWF Nr. 8 dargestellt sind. Grün hervorgehoben sind Nutzen und Indikatoren, die nachfolgend erläutert werden. Der Nutzen wurde ausgewählt, da ihm die meisten Indikatoren zugeordnet sind und umgekehrt werden die Indikatoren erläutert, mit denen die meisten Nutzen ermittelt werden können.

Tabelle 27: Nutzen-Indikatoren Zuordnung von AWF Nr. 8 Bauablaufplanung

Nutzen / Indikatoren	Anzahl zugeordneter Nutzen	Bessere Alternativanalyse	Bessere Terminplanung	Besseres Änderungsmanagement	Besseres Flächenmanagement	Geringere Kosten	Gesteigerte Wettbewerbsvorteile	Höhere Kundenzufriedenheit	Optimierung der Bauabläufe	Verbesserte Kommunikation	Verbesserte Lernkurve	Verkürzte Ausführungszeiten	Weniger Fehler
Anzahl zugeordneter Indikatoren		3	9	6	1	6	1	1	5	8	2	2	6
Änderungsaufträge	2			x									x
Änderungsdauer	1			x									
Änderungskosten	3			x		x							x
Angemessenheit von Meetings	1									x			
Arbeitsintensität	2	x				x							
Effektivität von Meetings	1									x			
Effizienz von Meetings	1									x			
Genauigkeit und Fehleranzahl	1												x
Gesamtdauer	3									x	x	x	
Gesamtkosten	1					x							
Informationsanfrage (RFI)	3			x						x			x
Kollisionen	1		x										
Konflikte	6		x	x	x				x	x			x
Kosten für Gewährleistung	1					x							

Nutzen / **Indikatoren**	Anzahl zugeordneter Nutzen	Bessere Alternativanalyse	Bessere Terminplanung	Besseres Änderungsmanagement	Besseres Flächenmanagement	Geringere Kosten	Gesteigerte Wettbewerbsvorteile	Höhere Kundenzufriedenheit	Optimierung der Bauabläufe	Verbesserte Kommunikation	Verbesserte Lernkurve	Verkürzte Ausführungszeiten	Weniger Fehler
Kosten pro Einheit	3		x			x			x				
Kosteneinsparungen	2					x							x
Kostenvorhersagbarkeit	2	x	x										
Leerlaufzeiten	2		x						x				
Lernkurve	1										x		
Marktzugang	1						x						
Nacharbeitungsumfang	1		x										
Produktionsgeschwindigkeit	2		x						x				
Qualität	1	x											
Ressourcennutzung	1		x										
Visualisierungszufriedenheit	1									x			
Wartezeit	3			x						x		x	
Zeit pro Einheit	1								x				
Zeitliche Vorhersagebarkeit	1		x										
Zufriedenheit	1							x					

Insgesamt 29 Indikatoren sind dazu geeignet, einen oder mehrere der zwölf Nutzen von AWF Nr. 8 zu bestimmen. Mit einer Anzahl von neun sind die meisten Indikatoren dem Nutzen „Bessere Terminplanung“ zugeordnet. Die meisten Nutzen (sechs Stück) können mit dem Indikator „Konflikte“ bestimmt werden. Fünf weitere Indikatoren sind dazu in der Lage, jeweils drei Nutzen zu bestimmen. Dabei handelt es sich um: „Änderungskosten“, „Gesamtdauer“, „Informationsanfrage (RFI)“, „Kosten pro Einheit“ und „Wartezeit“. Mit Hilfe der Beschreibungen aus Kapitel 6.4 wird es möglich, die Indikatoren mit geeigneten Metriken zu bestimmen. Für die zuvor genannten Indikatoren, die den meisten Nutzen zugeordnet sind, sind es die folgenden Metriken:

- Konflikte: Anzahl an Nachträgen; Kosten an Nachträgen oder der Zeitaufwand für die Lösung von Nachträgen/Konflikten.
- Änderungskosten: Kumulierte Kosten der Änderungsaufträge; Prozentualer Anteil der Änderungskosten an den Gesamtkosten; Durchschnittliche Änderungskosten pro Änderungsauftrag
- Gesamtdauer: Bauzeit (Fertigstellungstermin - Projektbeginn), ggfs. differenzierte Betrachtung zwischen Soll- und Ist-Werten.
- RFI: Gesamtanzahl der RFI; Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase; Kosten der RFI (gesamt oder pro Stück); Bearbeitungsdauer der RFI.
- Kosten pro Einheit: Stückkosten (Gesamtkosten pro Mengeneinheit z. B. m² BGF); Materialkosten pro Mengeneinheit; Personalkosten pro Mengeneinheit; Entsorgungskosten pro Mengeneinheit
- Wartezeit: Entscheidungslatenzzeit (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung).

Zusätzlich können auch für die verbleibenden 23 Indikatoren Metriken ausgewählt werden, um den Nutzen des AWF zu bestimmen. Dies ist projekt- oder unternehmensspezifisch zu prüfen. In den Steckbriefen der AWF werden nur die häufigsten Indikatoren angegeben. Zum einen wird dadurch der Darstellungsumfang erheblich reduziert. Zugleich sind die Ergebnisse der Arbeit als Hilfestellung gedacht. Insbesondere bei einer ersten Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von AWF oder BIM wäre der Zeitaufwand zu groß, alle geeigneten Metriken als Entscheidungsauswahl zur Verfügung zu haben.

Anwender erhalten in den Steckbriefen somit eine Empfehlung, welche Indikatoren und Metriken am geeignetsten sind, um möglichst viele Nutzen des AWF bestimmen zu können. Fortgeschrittene Anwender erhalten jedoch die Möglichkeit aus einer deutlich größeren Bandbreite an Metriken zu wählen, wenn einer der anderen 23 Indikatoren des AWF Nr. 8 gewählt wird.

Die entsprechenden Kurzbeschreibungen für den Implementierungsaufwand, Anwendungsaufwand, Nutzen, Indikatoren und Metriken sind für den exemplarischen AWF in Tabelle 28 als Auszug aus dem zugehörigen Steckbrief aus Anhang D abgebildet. Sofern in den einzelnen Quellen keine geeigneten Angaben für die neu entwickelte Systematisierung der AWF enthalten ist oder die dort beschriebenen Zusammenhänge einer kritischen Prüfung nicht standhalten konnten, erfolgt eine eigenständige Beschreibung.

Tabelle 28: Zuordnung der Aufwände und Nutzen zu AWF Nr. 8 Bauablaufplanung

Bezeichnung	**Nr. 8 Bauablaufplanung (4D Planung)**
Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])	
Notwendigkeit zur Einführung von Softwarewerkzeugen zur Verknüpfung der Modelldaten mit Terminplan (4D-Software) zur Erstellung, Visualisierung und Prüfung von 4D-Modellen. Schulungsaufwand nach Bedarf. (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 48)	
Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])	
Erstellung oder Aktualisierung von 4D-Modellen. Ggfs. zusätzliche Anpassungen an bestehenden Modellen notwendig. Hinzu kommen Kosten für 4D-Software und Hardwarebetrieb.	
Nutzen	
Lückenloser Terminplan und erhöhte Terminsicherheit	
Besseres Verständnis der Bauabläufe durch Visualisierung	
Optimierung der Bauabläufe	
Verbesserte Kommunikation	

Bezeichnung	**Nr. 8 Bauablaufplanung (4D Planung)**
Indikatoren	**Metriken**
Änderungskosten	Kumulierte Kosten der Änderungsaufträge oder durchschnittliche Änderungskosten pro Änderungs-
Gesamtdauer	Verhältnis von Soll-Bauzeit zu Ist-Bauzeit
Konflikte	Anzahl an Nachträgen oder Kosten an Nachträgen aufgrund Terminänderungen
RFI	Gesamtanzahl der RFI; Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase; Kosten der RFI (gesamt oder pro Stück); Bearbeitungsdauer der RFI.
Kosten pro Einheit	Stückkosten (Gesamtkosten pro Mengeneinheit z. B. m² BGF); Materialkosten pro Mengeneinheit; Personalkosten pro Mengeneinheit
Wartezeit	Entscheidungslatenzzeit (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung).

7.1.4 Orientierungswerte für Aufwände und Nutzen der AWF

Auf Basis der Untersuchungen in den vorherigen Kapiteln können Orientierungswerte für den Implementierungsaufwand, Anwendungsaufwand und Nutzen sowie die Verwendungshäufigkeit und die Bedeutung für die Erreichung der Projektziele für die AWF bestimmt werden. Dazu wurden die Werte der Untersuchungen von *Kreider et al.* (2010), *BIM4Infra2020* (2018) und *Deubel et al.* (2018) den AWF zugeordnet (sofern möglich und vorhanden) und zur Vergleichbarkeit normiert. Die Orientierungswerte bieten Anwendern eine zusätzliche Hilfestellung. Anzumerken ist, dass es sich aus mehreren Gründen nur um Werte für den Zweck einer groben Einschätzung handelt:

- Die Werte wurden für die ursprünglichen AWF gemäß den Systematiken der einzelnen Autoren erhoben und hier neu zugeordnet. Sofern mehrere AWF aus der Ursprungsquelle im neuen AWF berücksichtigt wurden, wurden die Werte gemittelt.
- Die Werte der *BIM4Infra2020* (2018) sind zwar aktuell, basieren jedoch auf den vorgestellten Einschätzungen der 30 Experteninterviews.
- Die Werte von *Kreider et al.* (2010) basieren zwar auf einer großen Anzahl an Umfrageteilnehmern, stammen jedoch aus dem Jahr 2010 und beschäftigen sich nicht mit dem Aufwand.
- Die Werte von *Deubel et al.* (2018) beschreiben keine Aufwände oder Nutzen, sondern stellen Einschätzungen der Umfrageteilnehmer im Hinblick auf die Bedeutung der Erreichung der Projektziele dar, wobei die Projektziele nicht definiert wurden (bspw. im Sinne konkreter Termin-, Kosten- oder Qualitätsziele).

Das Vorgehen zur Zuordnung wird anhand des exemplarischen AWF Nr. 8 erklärt und in Tabelle 29 in Form eines Auszugs des Steckbriefs dargestellt.

Tabelle 29: Normierte Orientierungswerte von AWF Nr. 8 Bauablaufplanung (Skala 0,00 = minimal bis 1,00 = maximal)

Bezeichnung	**Nr. 8 Bauablaufplanung (4D Planung)**
Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,30
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,77
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,79
Verwendungshäufigkeit *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,30
Bedeutung für Erreichung Projektziele *Deubel et al.* (2018)	0,73

BIM4Infra2020 (2018, S. 14) gibt für den AWF einen Implementierungsaufwand in Höhe von 1,8, einen Anwendungsaufwand in Höhe von 0,9 und einen Nutzen für den AG in Höhe von 2,3 an. Diese Werte beziehen sich auf eine Skala von 0 bis 3 (vgl. zur detaillierten Beschreibung Kapitel 6.2.3). Da andere Quellen andere Skalen verwenden, werden die Werte auf die in dieser Arbeit verwendete einheitliche Skala von 0 bis 1 normiert, in dem die eigentlichen Werte durch den Höchstwert der Skala dividiert werden. Für den Implementierungsaufwand ergibt sich somit ein Wert von 0,60 (1,8/3), für den Anwendungsaufwand 0,30 (0,9/3) und für den Nutzen 0,77 (2,3/3).

Dadurch werden die Werte direkt mit den Ergebnissen von *Deubel et al.* (2018) vergleichbar, die im Rahmen der vorgestellten Umfrage die Bedeutung des jeweiligen AWF für die Erreichung der Projektziele abgefragt haben und dabei eine Skala von 0 bis 1 verwendet haben (vgl. zur detaillierten Beschreibung Kapitel 6.2.4).

Abschließend sind die Ergebnisse von *Kreider et al.* (2010) für die neuen AWF von Bedeutung. Auch sie haben den Nutzen des jeweiligen AWF einschätzen lassen und die Verwendungshäufigkeit abgefragt. Letztere wird direkt in Prozent angegeben und muss daher nicht angepasst werden. Bei der Einordnung des Nutzens hat *Kreider et al.* (2010, S. 6) eine Skala von -2 bis + 2 verwendet. Der Betrag der Skala beträgt somit 4. Der von ihm auf dieser Skala ermittelte Nutzen des AWF Nr. 8 in Höhe von 1,15 würde somit auf einer vergleichbaren Skala von 0 bis 4 den Wert 3,15 annehmen. Zur Normierung wird daher dieser Wert ebenfalls durch den Höchstwert der Skala dividiert. Somit ergibt sich ein normierter Nutzwert nach *Kreider et al.* (2010, S. 5) in Höhe von 0,79 (1,15/4).

Wie bereits erläutert, können die Werte den Anwendern als Hilfswerte dienen, sind jedoch mit einigen Unschärfen behaftet. Die Ergebnisse für alle AWF sind in Tabelle 30 dargestellt. Für die acht grün markierten AWF liegen alle Orientierungswerte vor.

Tabelle 30: Normierte Orientierungswerte aller AWF (Skala 0,00 = minimal bis 1,00 = maximal)

Nr.	Bezeichnung	Implement-A. BIM4Infra	Anwendungs-A. BIM4Infra	Nutzen BIM4Infra	Nutzen Kreider	Verwendungshäufigkeit	Bedeutung für Projektziele
1	Abrechnung von Leistungen	0,73	0,33	0,73			0,70
2	Änderungsmanagement	0,60	0,30	0,77			0,78
3	Arbeits- und Gesundheitsschutz	0,60	0,43	0,57			
4	As-Built Modellierung	0,77	0,50	0,87	0,72	0,28	
5	Asset Management				0,62	0,96	
6	Ausschreibung und Vergabe	0,70	0,30	0,87			0,74
7	Automatisierung						0,68
8	Bauablaufplanung (4D Planung)	0,60	0,30	0,77	0,79	0,30	0,73
9	Baudokumentation						0,69
10	Baufortschrittskontrolle	0,63	0,27	0,70			0,73
11	Baugerätesteuerung und -verwaltung				0,77	0,34	0,53
12	Baustellenkoordination	0,67	0,43	0,60	0,75	0,28	0,69
13	Bauwerksanalyse				0,72	0,22	
14	Bestandserfassung	0,57	0,37	0,83	0,79	0,35	0,80
15	Entwurfsbewertung	0,57	0,30	0,77	0,84	0,54	0,71
16	Fachplanung				0,77	0,37	

Nr.	Bezeichnung	Implement-A. BIM4Infra	Anwendungs-A. BIM4Infra	Nutzen BIM4Infra	Nutzen Kreider	Verwendungshäufigkeit	Bedeutung für Projektziele
17	Facility Management	0,80	0,43	0,90	0,61	0,05	0,67
18	Flächenmanagement				0,70	0,21	
19	Genehmigungsplanung	0,60	0,27	0,77			0,62
20	Gewerkekoordination	0,50	0,27	0,87	0,90	0,64	0,88
21	Ingenieurtechnische Analysen	0,83	0,47	0,63	0,68	0,17	0,74
22	Katastrophenmanagement				0,57	0,36	
23	Kostenermittlung (5D Planung)	0,63	0,20	0,83	0,73	0,25	0,82
24	Mengenermittlung						0,86
25	Modellierung (3D Planung)				0,76	0,42	0,90
26	Nachhaltigkeitsbewertung				0,73	0,23	0,61
27	Nachtrags- und Mängelmanagement	0,53	0,30	0,80			0,78
28	Objektdokumentation						0,68
29	Planerstellung und -freigabe	0,60	0,33	0,73			0,81
30	Raum- und Funktionsprogramm				0,74	0,31	
31	Regelprüfung				0,69	0,19	
32	Ressourcenplanung						0,62
33	Rückbau						0,59

Nr.	Bezeichnung	Implement-A. BIM4Infra	Anwendungs-A. BIM4Infra	Nutzen BIM4Infra	Nutzen Kreider	Verwendungshäufigkeit	Bedeutung für Projektziele
34	Standortanalyse				0,71	0,28	
35	Visualisierung	0,33	0,23	0,83			0,80
36	Vorfertigung				0,72	0,14	

Die Bedeutung der Werte der einzelnen Quellen wurde in den zugehörigen Kapiteln diskutiert. An dieser Stelle können übergreifende Vergleiche angestellt werden. Auffallend und damit positiv im Sinne einer hohen Belastbarkeit zu werten ist, dass sich die Ergebnisse von *BIM4Infra2020* (2018) und *Kreider et al.* (2010) ähneln. Für neun AWF liegen Orientierungswerte aus beiden Quellen vor, die in Tabelle 31 dargestellt sind. Die durchschnittliche Abweichung über alle AWF beträgt lediglich 0,1, wobei bei fünf AWF der Nutzen von *Kreider et al.* (2010) größer eingeschätzt wird, bei den verbleibenden vier AWF hingegen von *BIM4Infra2020* (2018). Lediglich bei AWF Nr. 17 liegt mit 0,29 eine deutliche Abweichung vor, deren Ursache auf Basis der vorliegenden Informationen nicht begründet werden kann.

Tabelle 31: Nutzenvergleich ausgewählter AWF

Nr.	Bezeichnung	Nutzen BIM4Infra	Nutzen Kreider	Differenz	Betrag
4	As-Built Modellierung	0,87	0,72	0,15	0,15
8	Bauablaufplanung (4D-Planung)	0,77	0,79	-0,02	0,02
12	Baustellenkoordination	0,60	0,75	-0,15	0,15
14	Bestandserfassung	0,83	0,79	0,04	0,04
15	Entwurfsbewertung	0,77	0,84	-0,07	0,07
17	Facility Management	0,90	0,61	0,29	0,29
20	Gewerkekoordination	0,87	0,90	-0,03	0,03
21	Ingenieurtechnische Analysen	0,63	0,68	-0,05	0,05
23	Kostenermittlung (5D Planung)	0,83	0,73	0,10	0,10
	Mittelwert	**0,79**	**0,76**	**0,03**	**0,10**

7.1.5 Von Aufwänden und Nutzen zur Wirtschaftlichkeit

Die vorherigen Kapitel zeigen, dass bestehende Untersuchungen auf Granularitätsebene der AWF Nutzen und Aufwände nicht monetär bestimmt haben. Dieser Umstand führt dazu, dass die Wirtschaftlichkeit nicht bestimmt werden kann, da diese per Definition durch monetär bestimmte Aufwände und Nutzen berechnet wird. Dennoch wurde gezeigt, dass sich auch mit nicht monetär bestimmten Aufwänden und Nutzen Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von AWF treffen lassen können.

In Kapitel 2.5.5 wurde dazu bereits das Nutzen-Aufwand-Verhältnis definiert und Benchmark-Möglichkeiten angesprochen. Diese Gedanken werden hier fortgeführt und mit Hinblick auf die Anwendung des im nachfolgenden Kapitel vorgestellten Modells vertieft. Dazu werden insgesamt drei Güteklasse zur wirtschaftlichen Analyse der Aufwände und Nutzen von AWF definiert und in weitere Unterklassen unterteilt, wobei Aufwände und Nutzen der Güteklasse 3 Benchmarking, die der Güteklasse 2 die Berechnung des NAV und die der Güteklasse 1 die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ermöglichen:[2]

- Güteklasse 3.0: Benchmarking
  Nur Aufwände, nur Nutzen oder Aufwände und Nutzen in Einheiten, die nicht vergleichbar gemacht werden können wurden ermittelt. Eine Verhältnisbildung zwischen Aufwänden und Nutzen ist nicht möglich. Die Ergebnisse können allerdings mit anderen Projekten verglichen werden. Das sog. Benchmarking ist ein oft verwendeter Ansatz, um eine Tätigkeit oder ein Produkt mit anderen, die diese Tätigkeit oder Produkt ebenfalls nutzen, zu vergleichen. Im nächsten Schritt werden Ursachen für mögliche Abweichungen gesucht und ggfs. Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet.
- Güteklasse 2.2: Abschätzung des NAV
  Aufwände und Nutzen wurden in unterschiedlichen Einheiten ermittelt. Mit Hilfe geeigneter Annahmen erfolgt eine Abschätzung in eine einheitliche Einheit. Beispielsweise kann der Aufwand des AWF „Gewerkekoordination" zeitlich gemessen und zur Bestimmung des Nutzens der Indikator „Modellkonsistenz" verwendet werden, bei dem die Anzahl der Modelle mit Konflikten oder die Anzahl der Konflikte bestimmt wird. Mit Hilfe eines Abschätzungsfaktors für die Bearbeitungsdauer zur Konfliktlösung kann die Anzahl der Konflikte in eine zeitliche Einheit überführt werden. Durch diese Abschätzung kann das NAV berechnet werden.

[2] Aufwände und Nutzen einer höheren Güteklasse (z. B. 1.0) können immer auch für die Methoden der niedrigeren Güteklasse (z. B. 3.0) verwendet werden. Umgekehrt ist dieses Vorgehen nicht möglich.

- Güteklasse 2.1: Umrechnung des NAV
  Aufwände und Nutzen wurden in unterschiedlichen Einheiten ermittelt. Eine Umrechnung in eine einheitliche Einheit ist möglich. Der Ansatz entspricht damit dem der Güteklasse 2.2, wobei kein Abschätzungsfaktor, sondern ein bekannter Umrechnungsfaktor verwendet wird, wodurch die Belastbarkeit des Ergebnisses steigt. Beispielsweise kann der Nutzen des AWF „Bestandserfassung" mit dem Indikator „Informationsanfrage (RFI)" bestimmt werden. Wenn der Anwendungsaufwand der BIM-basierten Bestandserfassung z. B. in der Zeiteinheit Stunden und die dabei entstandene Anzahl an zusätzlichen Informationsanfragen ermittelt wurde, kann die Anzahl mittels geeignetem Umrechnungsfaktor[3] in eine Zeiteinheit umgerechnet werden. Das NAV kann im nächsten Schritt berechnet werden.
- Güteklasse 2.0: Direkte Berechnung des NAV
  Aufwände und Nutzen wurden in derselben nicht monetären Einheit ermittelt. Das Nutzen-Aufwand-Verhältnis kann direkt berechnet werden.
- Güteklasse 1.2: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit
  Aufwände und/oder Nutzen wurden in nicht monetären Einheiten ermittelt. Eine Abschätzung in eine einheitliche monetäre Einheit ist möglich. Beispielsweise kann der Aufwand für den AWF „Gewerkekoordination" durch einen externen Dienstleister in Rechnung gestellt werden und ist damit für den Besteller direkt monetär bestimmbar. Ein daraus resultierender exemplarischer Nutzen ist die Reduktion von Bauteilkollisionen. Häufig kann die Vermeidung einer Bauteilkollision nicht direkt monetär bestimmt werden, da zum einen zwischen der monetären Auswirkung der Vermeidung der Kollision in der Planungs- und der Realisierungsphase unterschieden werden muss, zum anderen ggfs. nicht alle benötigten Kosteninformationen vorliegen. Dennoch wäre es an dieser Stelle möglich, mittels geeigneter Annahmen den finanziellen Nutzen der vermiedenen Bauteilkollision abzuschätzen, wenn beispielweise aus vergangenen Projekten bekannt ist, dass die

[3] Z. B. Bearbeitungsdauer einer Informationsanfrage = 1 Arbeitsstunde pro Informationsanfrage

durchschnittlichen Kosten einer Bauteilkollision einen bestimmten Geldbetrag ausmachen. Mit Hilfe des Abschätzungsfaktors kann im nächsten Schritt die Wirtschaftlichkeit berechnet werden.

- Güteklasse 1.1: Umrechnung der Wirtschaftlichkeit
  Aufwände und/oder Nutzen wurden in nicht monetären Einheiten ermittelt. Eine Umrechnung in eine einheitliche monetäre Einheit ist möglich.
  Nicht monetär bestimmte Aufwände und Nutzen können häufig in monetäre Einheiten umgerechnet werden. Beispielsweise kann der ermittelte zeitliche Aufwand zur Anwendung eines AWF oder der Nutzen in Form von eingesparten Stunden zur Bearbeitung einer Aufgabe durch einen geeigneten Stundenverrechnungssatz in Geldeinheiten umgerechnet werden. Im Anschluss kann die Wirtschaftlichkeit berechnet werden.
- Güteklasse 1.0: Direkte Berechnung der Wirtschaftlichkeit
  Aufwände und Nutzen wurden in derselben monetären Einheit ermittelt. Die Wirtschaftlichkeit kann direkt berechnet werden.

Durch die Zuordnung der Aufwände und Nutzen in die verschiedenen Güteklassen erfolgt eine Abgrenzung, ob die Wirtschaftlichkeit oder das NAV berechnet werden können bzw. ob ein Benchmarking möglich ist. Diese Unterscheidung ist für die Funktion des Modells notwendig.

7.2 Modell zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit

7.2.1 Allgemeine Beschreibung des Modells

Durch die vorherigen Kapitel sind alle Bestandteile des Modells einzeln beschrieben. In diesem Kapitel werden die Bestandteile daher in ein Modell zusammengeführt und die Funktionsweise erläutert. Dieser allgemeine Aufbau und die Funktionsweise des Modells ist in Abbildung 78 dargestellt.

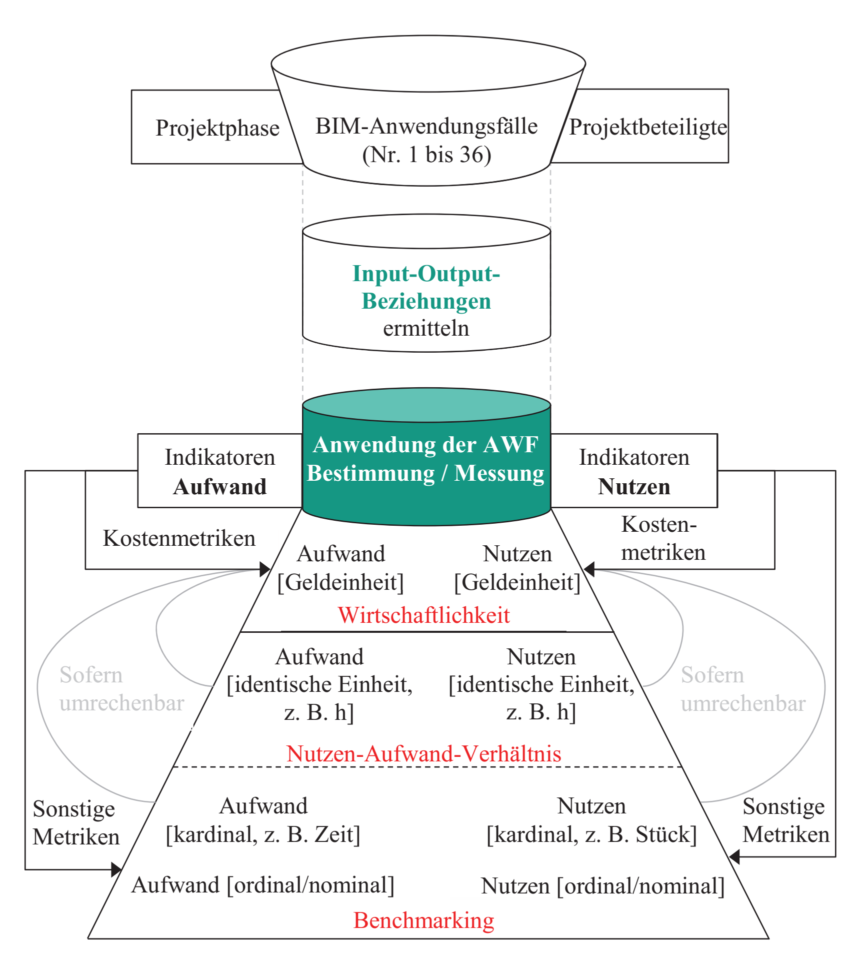


Abbildung 78: Allgemeiner Aufbau und Funktionsweise des Modells

Der erste notwendige Schritt zur Anwendung des Modells ist die Festlegung der verwendeten AWF im Projekt/Unternehmen bzw. der Untersuchung, da i. d. R. nie alle AWF verwendet werden. Der Verwendungsumfang ist zudem grundsätzlich durch die Projektphase und die Projektbeteiligten begrenzt (vgl. hierzu auch Tabelle 22). Im Ergebnis reduziert sich dadurch üblicherweise der Untersuchungsumfang auf eine geringere Zahl als die 36 möglichen

AWF. Bei der Anwendung des Modells wäre es möglich, nur einen einzigen AWF auszuwählen.[4] Sofern dies der Fall ist, können alle Aufwände und Nutzen exakt für diesen ausgewählten AWF ermittelt und ihm zugeordnet werden. Dann entfällt der nachfolgende Schritt.

Andernfalls sind die Aufwände und Nutzen jeweils für den zugehörigen AWF separat zu bestimmen und die Input-Output-Beziehungen zu ermitteln. Diese Vorgehensweise basiert auf den Erläuterungen aus Kapitel 7.1.2. Mit Hilfe des dort erarbeiteten und vorgestellten Input-Output-Modells wird geprüft, ob alle im vorherigen Schritt geplanten AWF in dieser Kombination angewendet werden können und festgestellt, ob ggfs. weitere Input-AWF benötigt oder weitere Output-AWF möglich werden (vgl. hierzu Abbildung 74 und Abbildung 75).

Danach erfolgt die eigentliche Anwendung der AWF bzw. deren Messung. Durch die in Kapitel 7.1.3 beschriebenen Aufwände und Nutzen und die dort erarbeiteten Indikatoren und Metriken sowie die entsprechenden Zuordnungen zu den AWF erhält der Anwender eine Hilfestellung, um für ihn geeignete Messparameter auswählen zu können, sofern er bspw. unternehmensintern nicht bereits bestimmte Kennzahlen zur Messung verwendet.

Primäres Ziel der Modellanwendung ist die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von AWF bzw. AWF-Kombinationen und damit der Wirtschaftlichkeit von BIM im Gesamten. Sofern Aufwände und Nutzen in Güteklasse 1 überführt werden können, kann dieses Ziel erreicht werden. Andernfalls bietet das Modell zusätzlich die Möglichkeit, das NAV der AWF zu berechnen oder Werte für ein Bechmarking zu erhalten. Die entsprechenden Güteklassen 1.0 bis 3.0 wurden in Kapitel 7.1.5 vorgestellt. Sofern Messungen lediglich in Güteklasse 3.0 durchgeführt werden, ist keine Verhältnisbildung im Sinne der Definitionen des NAV oder der Wirtschaftlichkeit möglich. Für diesen

[4] Allerdings besitzen die meisten AWF entsprechende Input-AWF, wodurch in den meisten Fällen eine kombinierte Anwendung der AWF erforderlich wird. Der AWF Bestandserfassung ist jedoch ein Beispiel für einen AWF, der ohne weitere Input-AFW angewendet werden kann. Ebenso könnte der AWF Modellierung ohne den Input-AWF Bestandserfassung angewendet und in diesem Fall auch einzeln betrachtet werden. Abweichungen von den Input-Output-Beziehungen sind projektindividuell zu prüfen und festzulegen.

Fall liefert Kapitel 7.1.4 entsprechende Orientierungswerte für Aufwände und Nutzen der AWF als Benchmarking-Grundlage. Andernfalls können Werte von vergleichbaren Projekten in oder außerhalb des jeweiligen betrachteten Unternehmens oder Projekts herangezogen werden, sofern diese vorliegen. Erfolgt die Messung von Aufwänden und Nutzen in der Güteklasse 2 kann das NAV bestimmt werden.

Durch die Verwendung des Modells wird es dadurch möglich, auf bis zu drei Ebenen (Güteklasse 1 bis 3) Aussagen über die verwendeten AWF bzw. AWF-Kombinationen zu erhalten und diese zu bewerten bzw. bei Bedarf entsprechende Optimierungsmaßnahmen abzuleiten. Im nächsten Kapitel wird die Anwendung des Modells an einem konkreten Beispiel vorgestellt.

7.2.2 Exemplarische Anwendung des Modells

Als gedankliches Beispiel für dieses Kapitel soll ein Stahlbetonskelettbau mit einer Tiefgarage und fünf oberirdischen Geschossen mit einer rechteckigen Grundfläche mit den Kantenlängen 33 Meter x 14,50 Meter gemäß Abbildung 79 dienen. Die Brutto-Grundfläche (BGF) des Gebäudes beträgt damit 2.871 m², die überschlägigen Baukosten[5] für den Rohbau 2,3 Millionen €.

Das Gebäude wurde bereits modelliert und das Gebäudedatenmodell wird an ein Bauunternehmen übergeben. Dieses möchte eine modellbasierte Kostenermittlung (AWF Nr. 23) durchführen und das Gebäudedatenmodell dazu verwenden. Der Aufwand und der Nutzen für diese Tätigkeit soll ermittelt werden, um Aussagen über die Wirtschaftlichkeit treffen zu können.

Damit ist bereits eine erste Präzisierung des Untersuchungsumfangs erfolgt. Die Betrachtung erfolgt aus Sicht eines beteiligten Unternehmens und nicht etwa aus Gesamtprojektsicht. Das hat zur Folge, dass beispielweise externe Aufwände und Nutzen aus vor- und nachgelagerten Anwendungsfällen bei dieser Perspektive nicht betrachtet werden.

[5] Annahme: 800 € / m² BGF



Abbildung 79: Exemplarisches Gebäude

Die grundsätzliche Vorgehensweise zur Anwendung des Modells zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit wird im Folgenden beschrieben. Aus dem Pool der 36 AWF sind unter Berücksichtigung der Projektphase und Projektrolle sowie der Ziele der Beteiligten, die Anwendungsfälle für das Projekt oder Unternehmen festzulegen, was hier mit der Auswahl von AWF Nr. 23 erfolgt ist. Es wird davon ausgegangen, dass der AWF im Unternehmen bereits implementiert ist und angewendet wird. Die Betrachtung des Implementierungsaufwands wird daher an dieser Stelle vernachlässigt. Darüber hinaus wird die Annahme festgelegt, dass ein Neubau realisiert werden soll, daher keine modellbasierte Bestandserfassung (AWF Nr. 14) erfolgt und direkt mit der Modellierung (AWF Nr. 25) begonnen wurde, die sich aus dem Raum- und Funktionsprogramm (AWF Nr. 30) ableitet, wobei beides bereits von externen Planern erstellt wurde.

Diese Projektkonstellation beschreibt die Ausgangssituation bzw. die Eingangsparameter zur Anwendung des entwickelten Modells und ist in Abbildung 80 dargestellt.

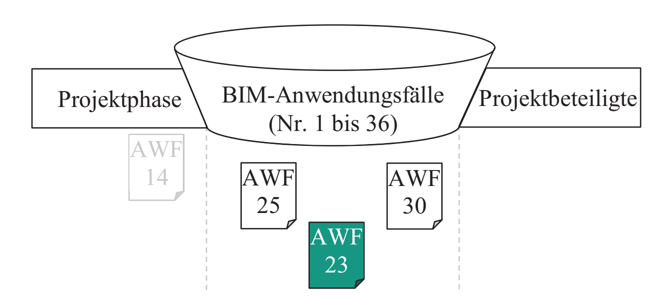


Abbildung 80: Eingangsparameter für exemplarische Modellanwendung

Im ersten Schritt ist zu prüfen, ob die Anwendung des AWF aufgrund der erarbeiteten Rollen- und Phasenzuordnungen der einzelnen AWF möglich ist. Die AWF-individuellen Informationen finden sich in den einzelnen Steckbriefen. Hier wird konkret Steckbrief zu AWF Nr. 23 verwendet, dessen Auszug in Tabelle 32 dargestellt ist. Demnach ist die Anwendung des AWF in der geplanten Projektphase und Rolle möglich (vgl. hierzu auch Herleitung und Erklärungen in 5.3).

Im nächsten Schritt ist mit Hilfe des Input-Output-Modells zu prüfen, ob der geplante AWF Nr. 23 weitere Input-AWF benötigt. Das ist hier im Beispiel der Fall. Der AWF benötigt als Input-AWF und unter Berücksichtigung der zu Kapitelbeginn erwähnten Annahmen AWF Nr. 30 Raum- und Funktionsprogramm, Nr. 25 Modellierung, Nr. 16 Fachplanung, Nr. 8 Bauablaufplanung und Nr. 24 Mengenermittlung, wie Abbildung 81 grafisch verdeutlicht

Tabelle 32: Phasen- und Rollenzuordnung für AWF Nr. 23 Kostenermittlung

Bezeichnung	Nr. 23 Kostenermittlung (5D Planung)					
Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung	N	A	A	A		
Projektrealisierung	N			A		
Projektbetrieb						

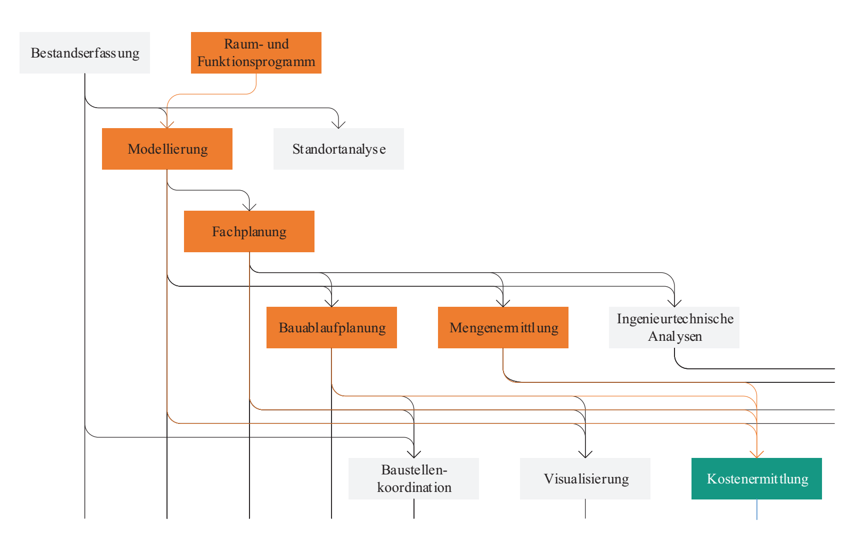


Abbildung 81: Input-AWF von AWF Nr. 23 in der exemplarischen Anwendung

Neben den drei geplanten AWF müssen folglich zur Umsetzung des AWF Nr. 23 Kostenermittlung drei weitere AWF angewendet werden. Ergänzend

kann geprüft werden, ob sich aus dieser projektspezifischen AWF-Kombination weitere AWF ergeben, die angewendet werden könnten. In diesem Beispiel wird der Schritt zur Vereinfachung nicht durchgeführt, sondern die Annahme getroffen, dass keine weiteren AWF angewendet werden sollen. Zudem wird vereinfachend festgelegt, dass die AWF Bauablaufplanung und Mengenermittlung bereits abgeschlossen sind und nicht zum Untersuchungsumfang dazugehören sollen. Die Input-Output-Beziehungen sind damit im Modell ermittelt und in Abbildung 82 dargestellt. Die grün umrandeten AWF sind als notwendige Vorbedingungen aus dem Input-Output-Modell hinzugekommen.

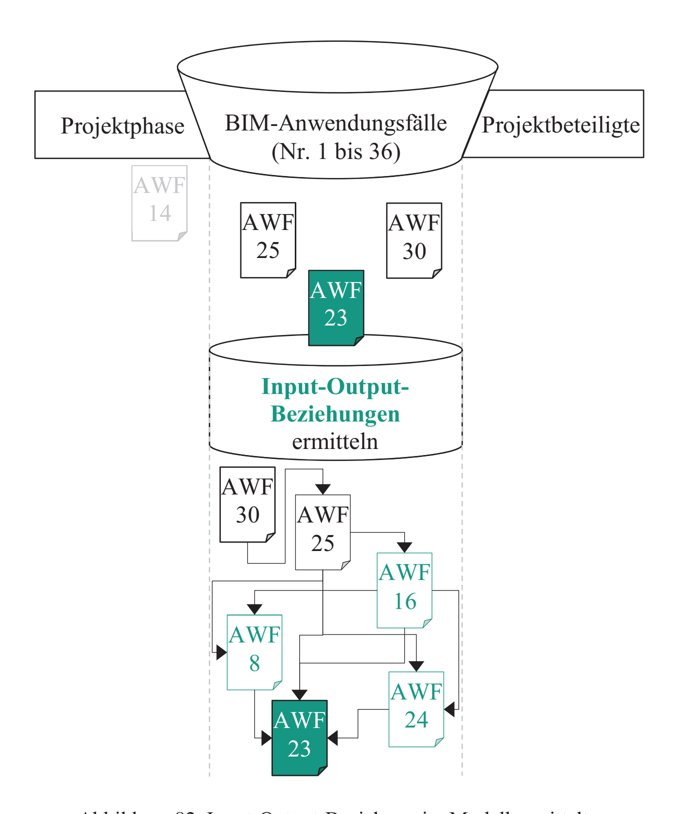


Abbildung 82: Input-Output-Beziehung im Modell ermittelt

Diese Zusammenhänge sind in der Praxis von großer Bedeutung. Während jeder einzelne anzuwendende AWF Aufwände erfordert, entstehen zugleich aus jedem einzelnen AWF Nutzen. Die eingangs zu Kapitel 7.1.1 erwähnten Interferenzen entstehen. Für eine vollständige Betrachtung dieser Zusammenhänge müssten für jeden verwendeten AWF die Aufwände und Nutzen mit Hilfe der in den Steckbriefen vorgeschlagenen Indikatoren und Metriken ermittelt und auf mögliche Interferenzen geprüft werden. Dieser Schritt wird in der exemplarischen Anwendung nicht durchgeführt, sondern lediglich Aufwand und Nutzen für AWF Nr. 23 betrachtet. Das grundlegende Prinzip kann damit in ausreichender Form erklärt werden. Um welche Aufwände und Nutzen es sich dabei handeln kann und wie diese gemessen werden können, wird dem zugehörigen Steckbrief entnommen, der auszugsweise in Tabelle 33 dargestellt ist.

Tabelle 33: Aufwände und Nutzen von AWF Nr. 23 Kostenermittlung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Einführung von Software zur Verknüpfung modellbasierter Mengendaten oder Objekten mit Kosten- oder Preisansätzen zur Kalkulation. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig. Vgl. *Borrmann et al.* (2019, S. 23)
Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Verknüpfung der Mengendaten oder Objekten mit Kosten- oder Preisansätzen. Ggfs. ist zusätzlicher Aufwand zur Erfassung der Objekte notwendig, wenn diese nicht nach festzulegenden Regeln erstellt wurden.
Nutzen
Einfachere Ermittlung und Analyse von Alternativen
Genauere Kostenberechnung
Reduziertes Risiko
Verbesserte Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse

Indikatoren	**Metriken**
Änderungs- oder Fehlerkosten	Kosten für Einarbeitung von Änderungen oder die Behebung von Fehlern
Genauigkeit	Abweichungen zwischen Kalkulation (Sollkosten) und Istkosten
Gesamtkosten	Gesamtkosten absolut oder im Vergleich zu vergleichbaren Projekten
Kostenvorhersage-genauigkeit	(Istkosten - Sollkosten)/Istkosten
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes absolut oder relativ zu den Gesamtkosten

Somit kann mit der eigentlichen Anwendung des AWF bzw. der Messung begonnen werden. Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass der Anwendungsaufwand zur Verknüpfung der Mengendaten mit Kostenansätzen ermittelt wurde und der Kalkulator dafür 8 Arbeitsstunden benötigt hat. Bei einem exemplarischen Stundensatz des Kalkulators in Höhe von 120 €/Arbeitsstunde entsteht dadurch ein monetär bewerteter Aufwand in Höhe von 960 €. Dazu kommen entsprechende Aufwendungen für die benötigte Software, die gemäß den Ausführungen in Kapitel 6.3 je nachdem, ob es sich um eine Miet- oder Kauflizenz handelt, zu den Anwendungs- oder den Implementierungsaufwendungen gezählt werden kann. Hier im Beispiel wird davon ausgegangen, dass die Software iTWO von RIB verwendet wird und dafür monatliche Lizenzkosten in Höhe von 708 € anfallen (vgl. Kapitel 6.3), was bei 20 Arbeitstagen à 8 Arbeitsstunden pro Tag Kosten für das Beispielprojekt in Höhe von 35,40 € entspricht. Vereinfachend werden 10 % davon als Stromkosten der Hardware angesetzt (3,54 €). In Summe ergeben sich somit für die Anwendung von AWF Nr. 23 für das Beispielprojekt Kosten in Höhe von 998,94 €.

Nutzen aus dieser modellbasierten Vorgehensweise sind u. a. genauere Kostenberechnungen, ein reduziertes Risiko und eine verbesserte Transparenz sowie Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. So können beispielsweise die erwarteten Kosten und Erlöse anschaulich im zeitlichen Verlauf (und bei Bedarf mit Ansicht der zugehörigen Bauteile im dreidimensionalen Gebäudedatenmodell, hier nicht dargestellt) betrachtet werden, wie Abbildung 83 verdeutlicht.

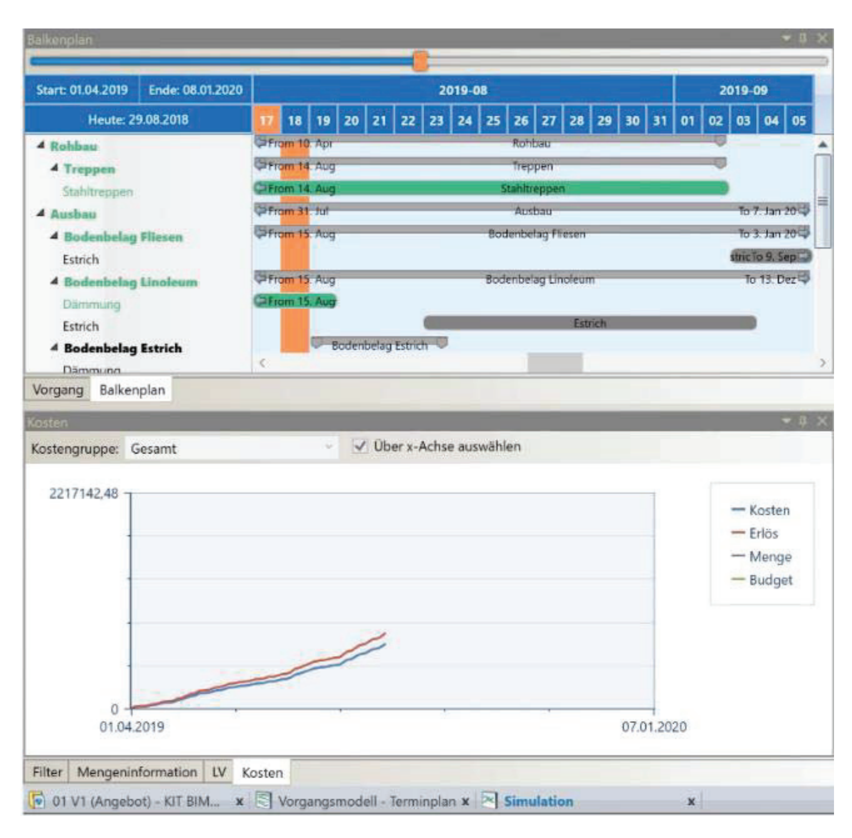


Abbildung 83: Exemplarische Zeit- und Kostensimulation mit RIB iTWO

Es stellt sich die Frage, wie diese Nutzen bewertet werden können, da sie, entgegen dem Aufwand, nicht direkt monetär ermittelt werden können. Der Ansatz ist daher, die im Steckbrief vorgeschlagenen Indikatoren heranzuziehen und mit den exemplarischen Metriken zu ermitteln.

Eine Feststellung mit dem Indikator Risiko könnte beispielsweise sein, dass bei einem Projekt, bei dem AWF Nr. 23 Kostenermittlung verwendet wird, die Kosten für Unvorhergesehenes mit 2 % der Gesamtkosten angesetzt werden, wohingegen bei konventionellen Projekten, ohne diesen AWF, Risikokosten in Höhe von 5 % der Gesamtkosten angesetzt werden. Durch AWF

Nr. 23 würden diese Kosten somit 0,02 x 2.300.000 € = 46.000 € anstatt 115.000 € betragen. Es wäre nicht verhältnismäßig, die eingesparten Risikokosten in Höhe von 69.000 € als monetären Nutzen von AWF Nr. 23 auszuweisen. Zumal der tatsächliche Eintritt des Risikos in dieser Projektphase nicht abschließend beurteilt werden kann.

Stattdessen wäre ein möglicher Umrechnungsfaktor zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit (Güteklasse 1.2, vgl. Kapitel 7.1.5) den Betrag fiktiv im Sinne einer Besicherung bspw. von einer Bank anzusetzen. Alternativ könnte der Betrag für eine andere Investition mit entsprechend erwarteter Rendite verwendet werden, wenn er nicht als Risikokosten bereitgehalten werden muss. Unter der Annahme von jährlichen Bürgschaftskosten in Höhe von 2 % würde die Besicherung von 69.000 € jährliche Kosten in Höhe von 1.380 € verursachen. Bei einem einjährigen Betrachtungszeitraum würde die Anwendungswirtschaftlichkeit von AWF Nr. 23 gemäß Formel 10 wie folgt berechnet werden können:

$$W_{A(AWF)} = \frac{N_{m(AWF)}}{A_{Am(AWF)}} = \frac{1.380\ €}{998{,}94\ €} = 1{,}38$$

Das Ergebnis ist größer als 1,0. Die Anwendung des AWF wäre damit wirtschaftlich. Würde der Betrachtungszeitraum auf einen Monat[6] verkürzt werden, würde die Wirtschaftlichkeit hingegen auf 0,12 sinken. Bei einem Betrachtungszeitraum von fünf Jahren[7] dagegen auf 6,91 steigen. Je länger folglich solch ein fiktiver Betrag in Form einer Einsparung gegenüber der konventionellen Kalkulation angesetzt wird, desto größer würde die Wirtschaftlichkeit ausfallen. Im Beispiel wäre der Breakeventpoint[8] bei 0,72 Jahren bzw. 8,69 Monaten.

[6] $\frac{\frac{1}{12} x\ 1.380\ €}{998{,}94\ €} = 0{,}12$

[7] $\frac{5\ x\ 1.380\ €}{998{,}94\ €} = 6{,}91$

[8] Punkt an dem der Nutzen den Aufwand eines AWF übersteigt

Eine andere Möglichkeit zur Abschätzung des Nutzens ist die Kalkulationsgenauigkeit (Abweichung zwischen Kalkulation bzw. Sollkosten und Istkosten, vgl. Tabelle 33) als Beurteilungsmaßstab heranzuziehen. Unter der Annahme, dass die modellbasierte Kalkulation mit Hilfe von AWF Nr. 23 die eingangs erwähnten Baukosten für den Rohbau in Höhe von 2,30 Mio. € ergäben und die Istkosten nach Abschluss der Baumaßnahme 2,25 Mio. € betragen würden, kann die Aussage getroffen werden, dass der Nutzen von AWF Nr. 23 50.000 € beträgt (2,30 Mio. € - 2,25 Mio. €). Wenn die Einsparungen tatsächlich vollständig auf AWF Nr. 23 zurückgeführt werden können, wäre die Aussage richtig. In der Regel führt dieser Ansatz jedoch zu falschen Einschätzungen, da üblicherweise mehrere Faktoren zusammenhängend betrachtet werden müssen und die Einsparung nicht allein durch AWF Nr. 23 zustande kommt.

Zielführender ist es, den Betrag aus Sollkosten minus Istkosten zu verwenden. Dieser beläuft sich sowohl bei Istkosten in Höhe von 2,25 Mio. € als auch bei Istkosten in Höhe von 2,35 Mio. € auf 50.000 € oder prozentual ausgedrückt auf 2,17 % der Sollkosten. In einem nächsten Schritt kann dieser Betrag bei vergleichbaren Projekten, bei dem AWF Nr. 23 nicht verwendet wurde, betrachtet werden. Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass er bei konventionell abgewickelten Projekten 5,00 % beträgt und die zuvor erwähnten 2,17 % repräsentativ für Projekte mit Verwendung von AWF Nr. 23 sind. Im Ergebnis kann dadurch die Aussage getroffen werden, dass die Streuung der Istkosten um die kalkulierten Sollkosten mit AWF Nr. 23 2,83 Prozentpunkte geringer ausfällt als ohne.

An dieser Stelle ist es deutlich schwieriger, geeignete Abschätzungsfaktoren für eine Aussage zum Nutzen herzuleiten. Theoretisch wäre vorstellebar, dass Projekte, bei denen Istkosten geringer ausfallen als die Sollkosten zu teuer kalkuliert wurden und damit ggfs. nicht beauftragt wurden bzw. an einen günstigeren Mitbewerber vergeben wurden. Ein Ansatz wäre somit, den dadurch entgangenen Gewinn als fiktiven Abschätzungsfaktor zu verwenden. Auf der anderen Seite könnte ein Ansatz sein, dass Projekte, bei denen Istkosten höher ausfallen als die Sollkosten, zu günstig kalkuliert wurden und damit ebenfalls der entgangene Gewinn oder schlimmsten Fall sogar zusätzliche Verluste als Abschätzungsfaktor herangezogen werden könnten. Unter

der Annahme einer durchschnittlichen Rentabilität eines Bauunternehmens in Höhe von 3 % und der zuvor hergeleiteten geringeren Streuung der Istkosten um die kalkulierten Sollkosten von AWF Nr. 23 gegenüber einer konventionellen Kalkulation in Höhe von 2,83 Prozentpunkten kann durch Multiplikation der beiden Werte damit ein Abschätzungsfaktor in Höhe von 0,000849 bezogen auf die Angebotssumme (Sollkosten) für jeden der beiden zuvor geschilderten Ansätze bzw. damit in Summe in Höhe von 0,001698 hergeleitet werden. Durch Multiplikation der angenommenen Bauwerkskosten in Höhe von 2,3 Mio. € beträgt der Nutzen von AWF Nr. 23 3.905 €[9]. Diese Zusammenhänge stellt Abbildung 84 grafisch dar.

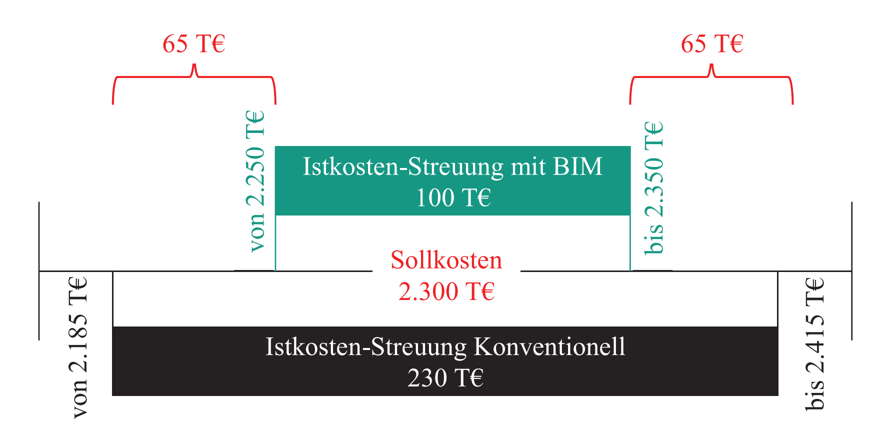


Abbildung 84: Reduktion der Istkosten-Streuung durch BIM

Die dort auf beiden Seiten rot dargestellten 65 T€, multipliziert mit der angenommenen Rentabilität in Höhe von 3 %, ergibt die zuvor hergeleiteten 3.900 €[10]. Die Differenz in Höhe von 5 € beruht auf Rundungsungenauigkeiten.

Erneut kann somit mit Hilfe von Formel 10 die Anwendungswirtschaftlichkeit bestimmt werden.

---

[9] 2.300.000 € x 0,001698 = 3.905 €

[10] 2 x 65.000 € x 0,03 = 3.900 €

$$W_{A(AWF)} = \frac{N_{m(AWF)}}{A_{Am(AWF)}} = \frac{3.905\ €}{998{,}94\ €} = 3{,}91$$

Die Beispiele in diesem Kapitel zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit von BIM bzw. einzelner AWF mit Hilfe des entwickelten Modells bestimmt werden kann. Das Gesamtmodell für dieses Beispielkapitel zeigt Abbildung 85.

Dabei ist anzumerken, dass die ermittelten Ergebnisse je nach verwendeter Nutzenindikatoren und Metriken sowie der entsprechenden Abschätzungsfaktoren stark streuen können. Im vorherigen Beispiel mit dem Indikator Risikokosten betrugt die Wirtschaftlichkeit 1,38, mit dem Indikator Kalkulationsgenauigkeit hingegen 3,91. Die tatsächliche Aussagekraft ist daher kritisch zu betrachten.

Dieser Kritik kann jedoch begegnet werden, wenn die Ergebnisse nicht als absolute Werte im Sinne einer einmaligen Betrachtung herangezogen werden, sondern ebenfalls als Benchmark für den Vergleich mit weiteren Projekten genutzt werden.

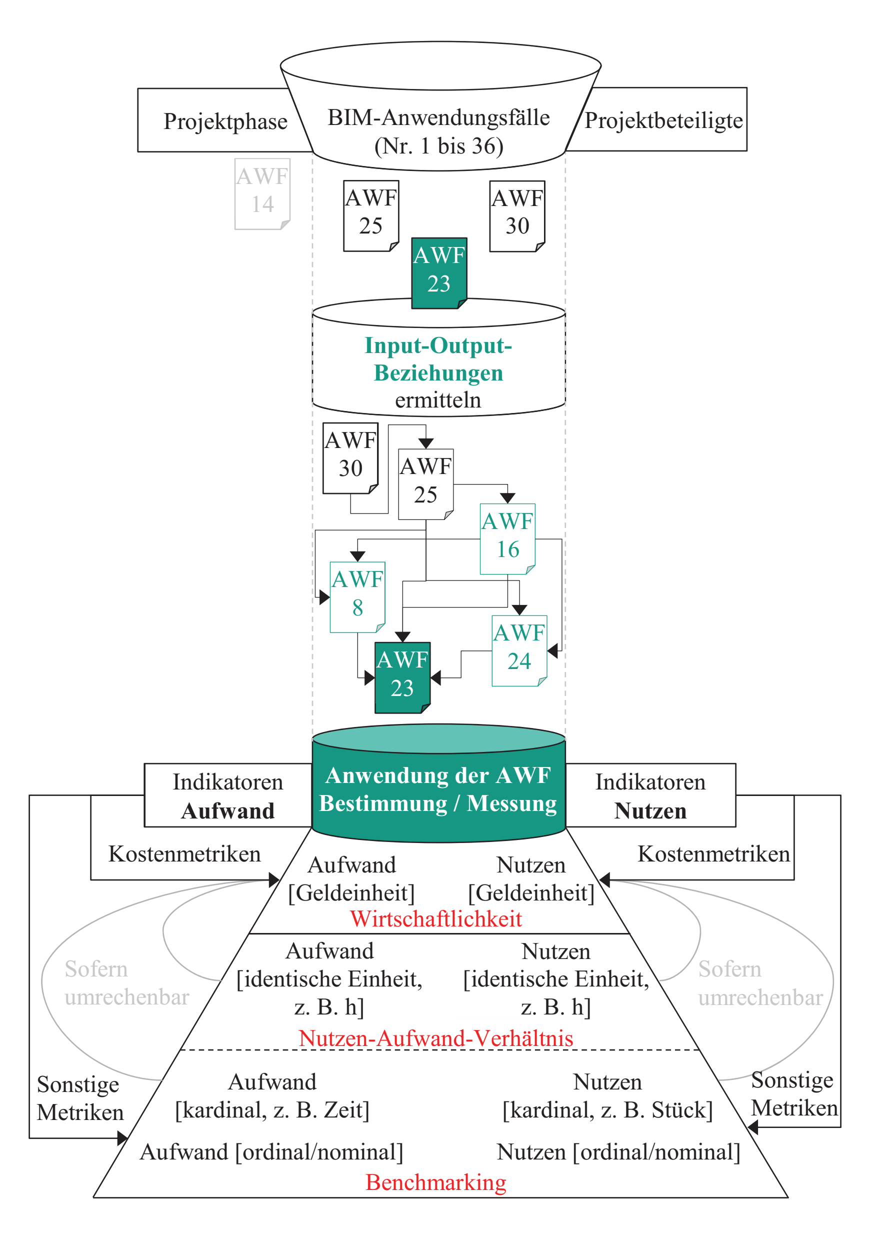


Abbildung 85: Modell zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM mit exemplarischen AWF

7.2.3 Praktische Validierung des Modells

Der in Kapitel 7.2.2 exemplarisch vorgestellte AWF Nr. 23 wurde in zwei großen und in Deutschland tätigen Bauunternehmen bei insgesamt 12 unterschiedlichen Bauprojekten zur Erfassung von Realdaten angewendet bzw. untersucht und damit entsprechende Daten erhoben. Dabei wurde jeweils nur die Erstellung des Rohbaus betrachtet, wobei die zugehörigen Gebäudedatenmodelle bereits vorab von den Unternehmen erstellt wurden und nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind (vgl. hierzu auch Erläuterungen des Beispiels in Kapitel 7.2.2). Die Ergebnisse werden zur Validierung des entwickelten Modells herangezogen, an dieser Stelle jedoch aus Datenschutzgründen zusammengefasst und nur nach den folgenden drei Bauwerkskategorien[11] ausgewertet dargestellt:

- Kategorie Wohngebäude: Sechs untersuchte Projekte
- Kategorie Bürogebäude: Zwei untersuchte Projekte
- Kategorie Gewerbeimmobilien: Vier untersuchte Projekte

Alle Kennwerte sind in Tabelle 34 dargestellt. Während der Angebotserstellung wurde der Aufwand des Kalkulators für die modellbasierte Kostenermittlung mit AWF Nr. 23 in Arbeitsstunden sowie die ermittelte Angebotssumme (AS) und nach Abschluss der Baumaßnahme die schlussgerechneten Kosten erfasst. Zusätzlich wurde der Aufwand mittels eines einheitlichen Stundensatzes für den Kalkulator in Höhe von 120 €/h in eine monetäre Einheit umgerechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Werte zusätzlich pro m² Brutto-Grundfläche normiert.

11 Die einzelnen Projekte wurden nach ihrer übermäßigen Nutzung zugeordnet. Beispielsweise fällt ein Gebäude mit einer Mischnutzung von 60 % Wohnen und 40 % Büro in die Kategorie Wohngebäude.

Tabelle 34: Durchschnittliche Daten zur Modellvalidierung

	Bauwerkskategorie		
Kennwerte	**Wohnen**	**Büro**	**Gewerbe**
Aufwand[12] [h]	51,4	24,5	110
Aufwand[13] [€]	6.168	2.940	13.200
AS[14] [T€]	3.836	2.502	13.819
Istkosten[15] [T€]	3.879	2.661	13.764
BGF [m²]	13.486	7.471	40.197
Aufwand [€] pro m² BGF	0,46	0,39	0,33
AS [€] pro m² BGF	284,43	334,83	343,77
Istkosten [€] pro m² BGF	287,64	356,18	342,42
Prozentuale Abweichung der Istkosten von AS	1,12 %	6,35 %	-0,40 %

Es zeigt sich, dass der geringste Aufwand pro m² BGF für AWF Nr. 23 in der Bauwerkskategorie Gewerbe angefallen ist, gefolgt von den Bürogebäuden. Mit durchschnittlich 0,46 € pro m² BGF ist die Kostenermittlung für Wohngebäude am teuersten. Generell lassen sich in diesem Zusammenhang mehrere aufwandssteigernde bzw. reduzierende Gründe diskutieren, die jedoch auf Bauprojekte im Allgemeinen zutreffen, nicht BIM-spezifisch sind und daher an dieser Stelle nur stichpunktartig aufgeführt werden. Dazu zählen:

12 Für modellbasierte Kostenermittlung (AWF Nr. 23) in Arbeitsstunden

13 Pauschale Bewertung der Arbeitsstunden mit Stundensatz in Höhe von 120 €/h für Kalkulator ohne Betrachtung weiterer Kosten z. B. für Softwaremiete oder Stromverbrauch

14 AS = Angebotssumme = Sollkosten = Kalkulierte Kosten inkl. Baustellengemeinkosten, Wagnis und Gewinn

15 Istkosten = Tatsächliche Kosten nach Fertigstellung der Baumaßnahme inkl. Baustellengemeinkosten, Wagnis und Gewinn = Nettopreis, den der Bauherr für die Baumaßnahme bezahlen muss

- Struktur des Leistungsverzeichnisses: Wenn die modellbasierte Mengenermittlung nicht mit einem Standard-Leistungsverzeichnis erfolgen kann, sondern in auftraggeber-spezifische Leistungsverzeichnisse umgerechnet werden muss, steigt der Aufwand.
- Anteil Mischnutzung: Ein Gebäude mit nur einer Nutzungsart kann schneller kalkuliert werden, als ein Gebäude mit Mischnutzung. Beispielsweise müssen bei einer Mischnutzung in der Regel deutlich mehr unterschiedliche Betonfestigkeitsklassen berücksichtigt werden, wodurch der Aufwand steigt.
- Regelmäßigkeit: Wenn Geschosse regelmäßig sind, können die Annahmen leicht auf darüber- oder darunterliegende Geschosse übertragen werden. Wenn jedes Geschoss unterschiedlich gestaltet ist, steigt der Aufwand zur Kalkulation des Gebäudes.

Neben der Feststellung, dass die Kategorie Wohngebäude den höchsten Aufwand für die Kostenermittlung erzeugt, ist ein weiteres Ergebnis, dass Wohngebäude mit einer durchschnittlichen Angebotssumme in Höhe von 284,43 € pro m² BGF am günstigen sind, Gewerbebauten mit 343,77 € pro m² BGF hingegen am teuersten. Auch dieser Umstand kann auf allgemeine und nicht BIM-spezifische Gründe zurückgeführt werden. Wohngebäude haben i. d. R. geringere statische Anforderungen an bspw. Nutzlasten, als Bürogebäude. Insbesondere Gewerbeimmobilien haben darüber hinaus oftmals große (und damit teurere) Spannweiten oder gegenüber Bürogebäuden nochmals erhöhte Anforderungen an Nutzlasten, wodurch die Rohbaukosten weiter steigen.

Im Rahmen der Validierung von AWF Nr. 23 ist hingegen die prozentuale Abweichung der Istkosten gegenüber den Sollkosten von Bedeutung. Mit -0,40 % fällt diese Abweichung bei den Gewerbeimmobilien am geringsten aus. Zudem ist der Wert negativ. Durchschnittlich sind die betrachteten Gewerbeimmobilien nach Abschluss der Baumaßnahme somit günstiger gewesen, als ursprünglich kalkuliert. Die Wohngebäude waren hingegen mit 1,12 % leicht teurer, die Bürogebäude mit 6,35 % deutlich teurer, als vorab kalkuliert.

Um diese Ergebnisse besser einschätzen zu können, wurden zu Beginn des Jahres 2020 Experten in zwei unterschiedlichen Unternehmen befragt. Dabei

handelt es sich zum einen um ein Unternehmen, das überwiegend Gewerbeimmobilien ohne die Verwendung der BIM-Methode baut (Unternehmen 1). Zum anderen um ein Unternehmen, dass sämtliche Gebäudearten im Hochbau errichtet und bereits Erfahrung im Umgang mit BIM sammeln konnte (Unternehmen 2). In Unternehmen 1 beträgt die durchschnittliche Abweichung der kalkulierten Sollkosten von den späteren Istkosten 7,50 %. In Unternehmen 2 hingegen entspricht die Abweichung in etwa den vorherigen Untersuchungen und beträgt durchschnittlich über alle BIM-Projekte hinweg 4,30 %. Die Abweichungen von Nicht-BIM-Projekten wurde in Unternehmen 2 nicht ermittelt.

Mit Hilfe des in Kapitel 7.2.2 vorgestellten Ansatzes zur Bewertung des Nutzens kann damit ein Abschätzungsfaktor ermittelt werden. In Unternehmen 1 beträgt die durchschnittliche Projektrendite 4,00 %. Die Differenz zwischen tatsächlicher Abweichung der Ist- von den Sollkosten bei Nicht-Verwendung von BIM und der ermittelte Wert aus den untersuchten Projekten für AWF Nr. 23 bei Gewerbeimmobilien beträgt 7,90 Prozentpunkte (7,50 % - (-0,40 %)). Durch Multiplikation dieser Differenz mit der Projektrendite in Höhe von 4,00 % beträgt der so ermittelte Abschätzungsfaktor 0,079 x 0,04 = 0,00316. Unter der Annahme, dass die Werte in Tabelle 34 repräsentativ für Unternehmen 1 sind, kann die Angebotswirtschaftlichkeit für AWF Nr. 23 wie folgt ermittelt werden:

$$W_{A(AWF)} = \frac{N_{m(AWF)}}{A_{Am(AWF)}} = \frac{0{,}00316\ x\ 343{,}77\ €/m^2BGF}{0{,}33\ €/m^2BGF} = \frac{1{,}09\ €}{0{,}33\ €} = 3{,}30$$

Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen (u. a. Nicht-Betrachtung von Softwarekosten und Stromverbrauch, Übertragbarkeit der Werte aus Tabelle 34 auf Unternehmen 1) bedeutet das Ergebnis, dass die Wirtschaftlichkeit von AWF Nr. 23 3,30 beträgt. Durch den Aufwand in Höhe von 0,33 € je m² BGF entsteht ein Nutzen in Höhe von 1,09 € je m² BGF. Kritisch ist an dieser Stelle anzumerken, dass die geringere Abweichung der Ist- von den Sollkosten bei den BIM-Projekten gegenüber den konventionellen Projekten theoretisch andere Gründe als die Verwendung von AWF Nr. 23 haben kann.

Gleichzeitig wurde bei dieser Betrachtung jedoch auch vernachlässigt, warum die konventionellen Projekte eine Abweichung in Höhe von +7,50 % haben. Vereinfachend werden diese Faktoren bei der Betrachtung ausgeblendet und es erfolgt lediglich die Fokussierung auf den Unterschied, dass AWF Nr. 23 verwendet bzw. nicht verwendet wird. Die tatsächliche Belastbarkeit der ermittelten Zahlen ist daher eingeschränkt. Relevanter im Kontext dieser Arbeit ist hingegen die Erklärung des Vorgehens im Allgemeinen. Dieses Ziel wurde erreicht und mit Hilfe des entwickelten Modells konnte die Wirtschaftlichkeit von AWF Nr. 23 untersucht werden. Ergänzend wird auf die Anmerkungen am Ende des Kapitels 7.2.2 verwiesen.

7.3 Diskussion und Extrapolation der Ergebnisse

Als Ergebnis aus den vorherigen Kapitel wird festgestellt, dass der betrachtete AWF wirtschaftlich ist. Dabei ist kritisch anzumerken, dass an mehreren Stellen entsprechende Annahmen getroffen wurden. Zudem wurde bei den Betrachtungen u. a. der Implementierungsaufwand vernachlässigt. Diese Umstände führen dazu, dass das Ergebnis bei einer erneuten Betrachtung in der Praxis oder veränderten Annahmen anders ausfallen kann und der AWF auch einen geringen Nutzen als den zugehörigen Aufwand haben kann. Damit wäre die Anwendung für sich betrachtet unwirtschaftlich. Auf der anderen Seite wurden im Rahmen der in Kapitel 7.2.2 und 7.2.3 vorgestellten Ergebnisse entsprechende Synergieeffekte im Sinne der in Kapitel 7.1.1 erläuterten Interferenzen nicht berücksichtigt. Ziel der Anwender muss es daher sein, diese Interferenzen bestmöglich zu nutzen und einzelne AWF in für ihre jeweiligen Bedürfnisse geeigneten Kombinationen anzuwenden. Dadurch kann die Amortisation des Aufwands deutlich verkürzt werden. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass mit Hilfe des vorgestellten Modelles die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit einzelner AWF oder von BIM in Summe in einem Projekt bzw. Unternehmen möglich ist. Durch das Modell selbst, ergänzt um die zugehörigen Erläuterungen zu den einzelnen Bestandteilen, erhalten Anwender der AWF eine Hilfestellung, für sie geeignete

AWF und Kombinationen von AWF zu bestimmen und die Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Ergänzend dazu liefern die Steckbriefe der AWF detaillierte Informationen über den zu erwartenden Implementierungs- und Anwendungsaufwand. Mit Hilfe der angegebenen Orientierungswerte (sofern vorhanden) können zudem insbesondere AWF-Erstanwender eine grobe Einschätzung vornehmen. Durch die zugeordneten Nutzen und die erarbeiteten Indikatoren und Metriken erhalten alle AWF-Anwender die Möglichkeit, Nutzen konkret zu erfassen. Diese Ergebnisse bilden die Basis für die Erarbeitung möglicher Handlungsoptionen.

Weiterhin ist festzuhalten, dass die erarbeiteten Zuordnungen nicht als starre Abhängigkeiten betrachtet werden dürfen. Zum einen sind ggfs. projekt- oder unternehmensspezifische Anpassungen vorzunehmen. Zum anderen wird der technologische Fortschritt und die zunehmende Etablierung der Methode BIM neue Anwendungsfälle entstehen lassen, die in künftigen Arbeiten zu berücksichtigen sind.

Abschließend erfolgt die Übertragung der Ergebnisse auf der Ebene einzelner AWF und BIM bezogen auf ein Projekt oder Unternehmen hin ins Allgemeine. Damit soll die Frage beantwortet werden, welche Potenziale BIM für die gesamte Baubranche bieten kann. Kapitel 3.3 hat dazu bereits einige Denkanstöße geliefert, die an dieser Stelle aufgegriffen werden. So schlägt *May* (2014) die Bestimmung der Rentabilität einer BIM-Investition über die Fehlerkosten vor, indem das Projektvolumen mit den prozentualen Fehlerkosten und dem prozentualen Fehlerkosteneinsparpotenzial von BIM multipliziert wird und anschließend durch die BIM-Implementierungskosten dividiert wird (vgl. Formel 18). *BauInfoConsult* (2018) haben in ihrer Jahresanalyse für 2018/2019 unter 600 Teilnehmern ermittelt, dass die durchschnittlichen Fehlerkosten 13,6 % des Projektvolumens betragen. *Giel* und *Issa* (2011) beziffern die durchschnittlichen Kosten von BIM auf 0,5 % des Projektvolumens. Nach *Statistisches Bundesamt* (2019a) und *Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung* (2019) belief sich der Umsatz im Bauhaupt- und Ausbaugewerbe im Jahr 2017 auf etwa 250 Milliarden Euro. Unklar bleibt das tatsächliche Fehlerkosteneinsparpotenzial von BIM bzw. kann dieses nicht pauschal angegeben werden. Allerdings wurde in Kapitel 3.3.1 gezeigt, dass beispielsweise die Mehrheit der Befragten von *Busker et al.*

(2017) davon ausgeht, dass durch BIM Fehlerkosten gesenkt werden können und *McGraw-Hill Construction* (2014b, S. 19) den größten Nutzen von BIM darin sieht, dass weniger Fehler und Versäumnisse entstehen. Mit Hilfe dieser Werte kann unter Verwendung des Vorschlags von *May* (2014) das Potenzial von BIM abgeschätzt werden (vgl. hierzu Kapitel 3.3.4). Gemäß Formel 18 beträgt bei einem BIM-bezogenen Fehlerkosteneinsparpotenzial von 10 %, die Rentabilität von BIM 172 %.

$$\frac{250\ Mrd.€\ x\ 0{,}136\ x\ 0{,}1}{250\ Mrd.€\ x\ 0{,}005} - 1 = 172\ \%$$

Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Rentabilität von BIM nach Formel 18

Bezogen auf die Kosten für BIM in Höhe von 1,25 Milliarden € (250 Mrd. € x 0,5 %) ergäbe sich ein Fehlerkosteneinsparpotenzial in Höhe von 3,4 Milliarden €. Oder anderes ausgedrückt: Jeder in BIM investierte Euro bringt eine Ersparnis der Fehlerkosten in Höhe von 2,72 Euro und damit eine Rendite in Höhe von 2,72 € - 1,00 € = 1,72 € bzw. 172 %. Sicherlich sind diese Zahlen mit großer Vorsicht zu betrachten, da es sich um grobe Schätzungen handelt. Beispielweise können die tatsächlichen Kosten für BIM höher ausfallen. Gleichzeitig ist allerdings auch das geschätzte Fehlerkosteneinsparpotenzial von BIM an den gesamten Fehlerkosten in der Beispielrechnung mit 10 % eher gering angesetzt. Zusammenfassend zeigen die Untersuchungen der Arbeit, dass BIM dazu in der Lage ist, die Produktivität der Baubranche deutlich zu steigern.

Es stellt sich die Frage, ob BIM der Baubranche zu Entwicklungen verhelfen kann, wie sie eingangs in Kapitel 1.1 für die Luft- und Raumfahrtbranche von *Agarwal et al.* (2016, S. 6) durch die computergestützte 3D-Modellierung beschrieben wurden. Abbildung 86 zeigt dazu in einer vergleichenden Übersicht die Entwicklungen der Bruttowertschöpfung und der Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen differenziert für die Baubranche und das Verarbeitende Gewerbe im zeitlichen Verlauf von 1970 bis 2018. Speziell für die Luft- und Raumfahrtbranche konnten keine vergleichbaren Daten ermittelt werden, allerdings ist die Luft- und Raumfahrtbranche Teil des Verarbeitenden Gewerbes (vgl. *Statistisches Bundesamt*, 2008, S. 314).

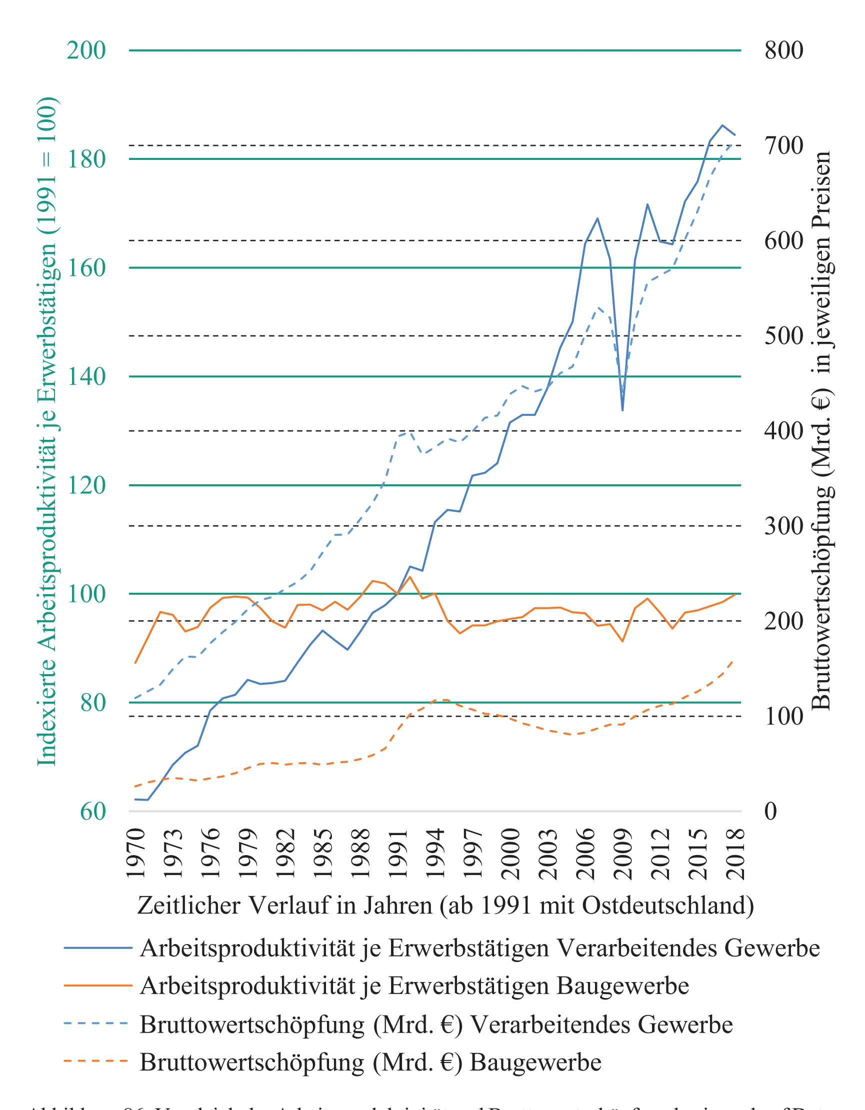


Abbildung 86: Vergleich der Arbeitsproduktivität und Bruttowertschöpfung basierend auf Daten von *Statistisches Bundesamt* (2019b)

Während das Verarbeitende Gewerbe im betrachteten Zeitraum seine Bruttowertschöpfung von 119,0 Mrd. € auf 705,2 Mrd. € und damit um das 5,9-Fache steigern konnte, entwickelte sich die Bruttowertschöpfung der Baubranche sogar noch stärker von 26,2 Mrd. € auf 160,6 Mrd. € und damit um das 6,1-Fache. Auf Basis dieser Daten kann damit die Aussage getroffen werden, dass die Verwendung von BIM bzw. computergestützter 3D-Modellierung keinen oder wenn nur geringen Einfluss auf die Bruttowertschöpfung erkennen lässt (vgl. hierzu auch das in Kapitel 6.6 diskutierte Produktivitätsparadoxon). Anzumerken ist, dass der Vergleich der absoluten Zahlen nur bedingt hilfreich ist, da die Anzahl der Beschäftigten bzw. deren Zu- oder Abnahme dabei nicht berücksichtigt wurden. Zielführender ist ein relativer Vergleich pro Person.

So fällt der Vergleich der Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen gänzlich anders aus und die quasi nicht vorhandene Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Baubranche wird deutlich. Während sich die auf das Jahr 1991 indexierte Arbeitsproduktivität des Verarbeitenden Gewerbes von 62,2 im Jahr 1970 auf 184,4 im Jahr 2018 nahezu verdreifacht hat, stieg sie in der Baubranche lediglich um das 1,14-Fache von 87,3 auf 99,8.

Unter der Annahme, dass die in Kapitel 1.1 erwähnte Aussage von *Agarwal et al.* (2016, S. 6) zutreffend ist und die Produktivitätssteigerungen in der Luft- und Raumfahrtbranche durch die computergestützte 3D-Modellierung hervorgerufen wurden, lassen diese Daten die Interpretation zu, dass durch BIM in der Baubranche ähnliche Produktivitätssteigerungen wie im Verarbeitenden Gewerbe möglich werden. Es bleibt künftig abzuwarten, ob diese hohen Erwartungen erfüllt werden.

Im Jahr 2017 haben im Baugewerbe 2,49 Mio. Erwerbstätige 3,97 Mrd. Stunden geleistet. Das entspricht 1.594 Stunden pro Erwerbstätigen und Jahr. Das BIP pro Stunde und Erwerbstätigem betrug 36,37 € (vgl. *Statistisches Bundesamt*, 2017, S. 76). Unter der Annahme, dass die Baubranche in den letzten 50 Jahren eine zum Verarbeitenden Gewerbe hin vergleichbare Entwicklung durchlaufen hätte und die Arbeitsproduktivität nicht um das 1,14-Fache, sondern ebenfalls um das 3-Fache zugenommen hätte, so könnte das heutige BIP

pro Stunde und Erwerbstätigen 95,71 € [16] betragen. In Summe könnte der jährliche Beitrag der deutschen Baubranche zum Bruttoinlandsprodukt etwa 380 Milliarden Euro betragen.

[16] 36,37 € / 1,14 * 3

8 Schlussbetrachtung

8.1 Zusammenfassung

BIM verbreitet sich zunehmend in der Baubranche und aktuelle politische Entwicklungen lassen eine tiefergehende Implementierung erwarten. Davon werden verschiedene Vorteile erwartet, um künftige Bauprojekte wieder verlässlicher innerhalb vorgegebener Zeit-, Kosten- oder Qualitätsziele fertigzustellen und die Produktivität innerhalb der Branche zu erhöhen. Gleichzeitig werden in Teilen rechtliche Bedenken oder IT-technische Herausforderungen diskutiert, die die Einführung erschweren und die es zu lösen gilt. Weniger im Fokus dieser Auseinandersetzungen steht die Untersuchung der tatsächlichen Wirtschaftlichkeit von BIM. Zwar wird in vielen Publikationen von teils erheblichen Einsparungen berichtet, doch unter welchen Randbedingungen diese genau ermittelt wurden bleibt häufig unklar.

Dies bildet die Ausgangssituation für Forschungsfrage 1, die untersucht, welche Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von BIM es gibt und welche Verfahren zur Bewertung verwendet werden. Es wurde festgestellt, dass bestehende Untersuchungen in überwiegender Form eine allgemeine Betrachtung von BIM vornehmen und zugleich ein Großteil der Einschätzungen mit Hilfe von Umfragen oder der Analyse einzelner Fallstudien gewonnen werden. Nur wenige Arbeiten betrachten die Zusammenhänge von Aufwand und Nutzen im Zusammenhang mit BIM auf einer theoretischen Modellebene. Erschwerend kommt hinzu, dass es keine einheitliche Begriffsdefinition für BIM gibt und unterschiedliche Auslegungen entstehen. Aus diesem Grund setzt sich die Verwendung sog. BIM-Anwendungsfälle zunehmend durch, um BIM in Form einzelner konkreter Leistungspakete beschreiben zu können.

Daran schließt Forschungsfrage 2 an und untersucht, welche AWF insgesamt existieren und wie AWF in Abhängigkeit der Projektphasen und -beteiligten kategorisiert werden können. Dazu wurden bestehende AWF erfasst und inhaltlich ausgewertet. Die Anzahl möglicher AWF schwankt stark in den

einzelnen Quellen. Aus diesem Grund wurden die zur Verfügung stehenden AWF vereinheitlicht und zu 36 AWF zusammengefasst. Für jeden AWF wurde auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen, ergänzt um eine Umfrage und eigene Überlegungen, eine Kurzbeschreibung sowie die üblicherweise daran beteiligten Projektbeteiligten (differenziert nach Autor und Nutzer) angegeben. Zusätzlich wurde eingeordnet, in welchen Projektphasen die AWF üblicherweise angewendet werden. Es wurde deutlich, dass Objektplaner die meisten Autoren von AWF sind, gefolgt von den Bauunternehmen und Fachplanern. Auch zeigte sich eine klare zeitliche Verteilung der typischen Rollen. Objekt- und Fachplaner sind die Autoren in der Planungsphase, wohingegen Bauunternehmen die Autoren in der Realisierungsphase sind. Die größten Nutzer der AWF über alle Phasen sind hingegen die Bauherren.

Im nächsten Schritt wurde für jeden AWF untersucht, welche AWF zur Umsetzung im Sinne einer Vorbedingung benötigt werden und welche AWF durch die Anwendung des entsprechenden AWF im Anschluss umgesetzt werden können. Die Ergebnisse wurden für jeden AWF in Form einer Input- und Output-AWF-Sammlung zusammengestellt. Diese Zuordnungen bilden die Eingangsparameter für das Input-Output-Modell der AWF, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurde und Anwendern die Möglichkeit bietet, vorab zu ermitteln, welche AWF in einem Projekt oder Unternehmen angewendet werden können und für welche ggfs. weitere Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Mit Hilfe des Input-Output-Modells wird Forschungsfrage 2 beantwortet.

Forschungsfrage 3 baut auf den Ergebnissen der Forschungsfragen 1 und 2 auf und beschäftigt sich damit, wie Aufwände und Nutzen einzelner AWF bestimmt werden können und damit Aussagen über die Wirtschaftlichkeit möglich werden. Insgesamt konnten vier Untersuchungen erfasst werden, die sich intensiv, aber mit unterschiedlichen Schwerpunkten, mit Aufwänden und Nutzen von AWF auseinandersetzen. Die dort erarbeiteten Ergebnisse wurden zusammengefasst, um eigene Überlegungen ergänzt und den neuen AWF zugeordnet. Während Aufwände relativ gut z. B. in Form von Arbeitsstunden oder Kosten bestimmt werden können, gestaltet sich die Nutzenbestimmung schwieriger. Dazu wurden den allgemein formulierten Nutzen der AWF kon-

krete Indikatoren und Metriken zugeordnet, wodurch Nutzen der AWF gemessen werden können. Im Ergebnis können Nutzen und Aufwand ins Verhältnis zueinander gesetzt werden, um Aussagen über die Wirtschaftlichkeit zu treffen. Die Summe der AWF bildet das Anwendungsspektrum von BIM. Anwender der Methode erhalten mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit eine Hilfestellung, um

- für ihr Unternehmen oder Projekt geeignete AWF und AWF-Kombinationen zu bestimmen sowie
- Aufwände und Nutzen der AWF zu messen und damit steuerbar zu machen.

Im Ergebnis wird es durch die Erarbeitung der AWF und der Zuordnung der Aufwände und Nutzen möglich, Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einzelner AWF und in Summe über die Methode BIM zu erhalten. Das Modell zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM beantwortet Forschungsfrage 3.

8.2 Kritische Würdigung und Ausblick

Kritisch muss bei den Zuordnungen der Aufwände und Nutzen zu den AWF angemerkt werden, dass es sich dabei nicht um allgemeingültige Zusammenhänge, sondern um üblicherweise zutreffende Konstellationen handelt. Beispielsweise können bei einem Projekt in Abhängigkeit der Kompetenzen der Beteiligten und der konkret verwendeten Definitionen für AWF andere Konstellationen möglich werden. Die Steckbriefe der AWF müssen dann ggfs. angepasst werden. Allerdings kann mit Hilfe der in den einzelnen Kapiteln der Arbeit detailliert beschriebenen Grundlagen dieser Situation begegnet und bei Bedarf (mit entsprechendem Aufwand) den AWF weitere Indikatoren und Metriken zur Nutzenmessung zugeordnet werden, die spezifischer auf die Projektsituation abgestimmt sind.

Darüber hinaus sind künftig entstehende AWF einzuarbeiten und bei Bedarf weitere Indikatoren und Metriken zu entwickeln. Die Belastbarkeit der erhobenen Orientierungswerte ist stets kritisch zu hinterfragen und dahingehend

zu untersuchen, ob die Veränderung tatsächlich auf den AWF oder auf andere Ursachen zurückzuführen ist. Dieser Punkt wurde im Zusammenhang mit den Hawthorne-Experimenten diskutiert. Künftige Arbeiten sollten daher einen Fokus darauf haben, Kennwerte automatisiert im Hintergrund zu erheben. Mit fortschreitender Digitalisierung und der Verfügbarkeit großer Datenmengen sind hier vielversprechende Entwicklungen im Zusammenhang mit Big-Data-Analysen und der Anwendung künstlicher Intelligenz zu erwarten, wodurch zugleich Aufwände und Nutzen einzelner AFW real präziser bestimmt werden können.

Des Weiteren ist anzumerken, dass das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand einzelner AWF oder bei einem Projekt nicht zwangsläufig größer als 1,0 sein müssen. Dieser Umstand wurde während der Implementierung mit dem Verlauf der Produktivität bei Einführung von BIM-Software erläutert und begründet. Dennoch muss ein Nutzen-Aufwand-Verhältnis kleiner als 1,0 auch während der reinen Anwendungsphase nicht automatisch in einer Nicht-Anwendung resultieren. Zwar würde dies der Homo oeconomicus bei einer theoretischen Betrachtung bejahen. Aber projekt- oder unternehmensindividuelle Gründe können dennoch dafürsprechen, dass BIM auch bei einem Nutzen-Aufwand-Verhältnis kleiner als 1,0 angewendet wird. So ist es vorstellbar, dass beispielsweise für ein spezielles Projekt sehr hochwertige VR- oder AR-Visualisierungen unter Berücksichtigung und Darstellung der 4D-Planung erstellt werden, obwohl die Ausführung noch fraglich ist. Sicherlich kann dabei noch ein gewisser Nutzen unterstellt werden, der nur bei Nichtrealisierung verpuffen würde. Aber selbst nach Fertigstellung könnten diese Modelle erstellt werden. Sie hätten keinen Nutzen im wirtschaftlichen Sinne dieser Arbeit und erzeugen lediglich Aufwand, werden aber ggfs. vom Eigentümer gewünscht. Viele andere Beispiele dieser Art sind vorstellbar.

Auf Basis der bisher vorliegenden Daten können nur in begrenztem Umfang tatsächliche Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von BIM und einzelner AWF, in Form einer monetären Bewertung, in beispielsweise Euro, getroffen werden. Dieser Umstand liegt darin begründet, dass es bisher keine entsprechenden Vorschläge zur Aufwands- und Nutzenmessung der AWF gab und zugleich BIM insgesamt in der Praxis erst wenig angewendet wird. Künftiges Ziel muss es daher sein, die Metriken der AWF in der Praxis anzuwenden

und eine Vielzahl an Kennwerten zu erheben. Mit Hilfe der beschriebenen Indikatoren und Metriken könnte mittelfristig ein umfassendes Benchmarksystem zur fortlaufenden Messung der Aufwände und Nutzen von BIM in einzelnen Projekten, Unternehmen oder gesamtwirtschaftlich für die Baubranche etabliert werden. Dabei ist anzumerken, dass die Anwendung des Modells stets unter Berücksichtigung der unternehmens- und projektspezifischen Gegebenheiten erfolgen muss und die Ergebnisse entsprechend zu interpretieren sind.

In den klassischen Disziplinen der Bauwirtschaft ist es üblich, auf geeignete Kennwerte bspw. für die Kalkulation von Baupreisen oder die Berechnung einer Statik zurückzugreifen. Für die Anwendung der AWF und damit für BIM gilt es diesen Schritt noch zu gehen und künftig Kennwerte bereitzustellen. Die vorliegende Arbeit liefert dazu die erforderlichen Grundlagen.

Literaturverzeichnis

Abdirad, Hamid; Pardis, Pishdad-Bozorgi (2014) Trends of Assessing BIM Implementation in Construction Research, in: Computing in Civil and Building Engineering (2014), S. 496-503, http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2014-paper-062.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Agarwal, Rajat; Chandrasekaran, Shankar; Sridhar, Mukund (2016) Imaging construction's digital future, Singapore

Aibinu, A. A.; Jong, P. de; *Wamelink, H.; Koutamanis, A.* (2014) Using Effort Distribution Analysis to Evaluate the Performance of Building Information Modeling Process, in: *Raja Raymond Issa/Ian Flood* (Hrsg.), International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2014, S. 73-80

Akademie der Ruhr-Universität gGmbH (Hrsg.) (2019) BIM-Professional: Schulung und Zertifizierung zum BIM Experten, http://bim-professional.de/programm-2/ [Zugriff 2019-08-12]

Allplan Handelsvertretung Stuttgart (Hrsg.) (2019) Hardware Empfehlung für Allplan, https://www.allplan.net/allplan-hardware-installation [Zugriff 2019-08-12]

Allplan Schweiz AG (Hrsg.) (2019) Preise für Allplan Architecture, https://www.allplan-architektur.ch/de/preise/business [Zugriff 2019-08-12]

American Society of Civil Engineers (Hrsg.) (2013) ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2013

- (Hrsg.) (2014) 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2014

Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (Hrsg.) (2019) Leistungen Building Information Modeling - Die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI: AHO Heft 11, Köln: Bundesanzeiger, 2019

Australian Sustainable Built Environment National Research Centre (2015) BIM Value, https://bimvaluetool.natspec.org/ [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Autodesk (Hrsg.) (2002) Building Information Modeling, San Rafael

- (Hrsg.) (2007) BIM's Return on Investment, http://static.ziftsolutions.com/files/8a7c9fef2693aa1e0126d282571c02c7 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019) Preise für Revit, https://www.autodesk.de/products/revit/subscribe?plc=RVT&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1 [Zugriff 2019-08-12]

Azhar, Salman (2011) Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, in: Leadership and Management in Engineering (2011) Volume 11, Issue 3, S. 241-252, http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Bahlau, Sascha; Klemt-Albert, Katharina (2018) Evaluationen zu den Potenzialen von Building Information Modeling, in: Bauingenieur 93 (2018) 7/8, S. 286-294

Baldwin, Mark (2018) Der BIM-Manager: Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement, Berlin: Beuth, 2018

Bardmann, Manfred (2019) Grundlagen der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre: Geschichte - Konzepte - Digitalisierung, 3. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2019

Barlish, Kristen (2011) How To Measure the Beneftis of BIM: A Case Study Approach, Masterthesis

Barlish, Kristen; Sullivan, Kenneth (2012) How to measure the benefits of BIM — A case study approach, in: Automation in Construction (2012), S. 149-159, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008

BauInfoConsult (Hrsg.) (2018) Deutsche Baubranche verursacht 14,9 Milliarden Euro Fehlerkosten in 2017, http://www.bauinfoconsult.de/presse/pressemitteilungen/2018/deutsche_baubranche_verursacht_14_9_milliarden_euro_fehlerkosten_in_2017/8850 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Becerik-Gerber, Burcin; Rice, Samara (2010) The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry, in: Journal of Information Technology in Construction 15 (2010), S. 185-201, http://itcon.org/data/works/att/2010_15.content.02423.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Berner, Fritz; Hermes, Michael; Spieth, Dominik (2016) Wechselwirkungen zwischen Lean Construction und der Arbeitsmethode BIM am Beispiel

der BIM-Anwendungsfälle Visualisierung und Bauablaufmodellierung, in: Bauingenieur 91 (2016)11, S. 466-472

Bialas, Frank; Wapelhorst, Vincent; Brokbals, Stefanie; Cadez, Ivan (2019) Quantitative Querschnittsstudie zur BIM-Anwendung in Planungsbüros, in: Bautechnik 96 (2019)3, S. 229-238

BIM4Infra2020 (Hrsg.) (2018) Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“: AP 1.2 „Szenariendefinition“ AP 1.3 „Empfehlung“, https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2018/09/AP1.2-AP1.3_BIM4INFRA_Bericht-Stufenplan.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

BIMpedia (Hrsg.) BIM Level - Entwicklungsstufen der BIM Methode, https://www.bimpedia.eu/node/1003 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

bimSCORE (Hrsg.) (2019) bimSCORE, https://www.sbi.international/index.php/learnmore/method02 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Bodden, Jörg L. (2017) BIM mit Einzelunternehmen - Strukturen und Vertragslösungen, in: Bauwirtschaft 2 (2017)2, S. 90-94

Borrmann, André; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Forster, Christian; Hausknecht, Kerstin; Hecker, Daniel; Hochmuth, Markus; Klempin, Carsten; Kluge, Michael; König, Markus; Liebich, Thomas; Schäferhoff, Genia; Schmidt, Ingo; Trzeciak, Maciej; Tulke, Jan; Vilgertshofer, Simon; Wagner, Bernd (2019) Teil 06: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle, https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Borrmann, André; König, Markus; Amann, Julian; Braun, Matthias; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Hausknecht, Kerstin; Hochmuth, Markus; Liebich, Thomas; Scheffer, Markus; Vilgertshofer, Simon (01.08.2017a) Endbericht Wissenschaftliche Begleitung Brücke über den Petersdorfer See

- (01.08.2017b) Endbericht Wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekt EÜ Filstal

- (01.08.2017c) Endbericht Wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekt Talbrücke Auenbach

- (01.08.2017d) Endbericht Wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekt Tunnel Rastatt

Borrmann, André; König, Markus; Braun, Matthias; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus; Hausknecht, Kerstin; Hochmuth, Markus; Liebich, Thomas; Scheffer, Markus; Singer, Dominic (2016) Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau: Zwischenbericht, Berlin

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hrsg.) (2015) Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015

Borrmann, André; König, Markus; Liebich, Thomas; Elixmann, Robert; Hochmuth, Markus (2017) Die INFRABIM-Reifegradmetrik, in: Bautechnik 94 (2017)4, S. 215-219

Borrmann, André; Lang, Werner; Petzold, Frank (2018) Digitales Planen und Bauen Schwerpunkt BIM, https://vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Planung-und-Koordination/2018/Downloads/Studie-Digitales-Planen-und-Bauen.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2015) Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler, 5. Aufl., Berlin: Springer, 2015

Both, Petra von; *Koch, Volker* (Hrsg.) (2009) Forum Bauinformatik 2009: 23. bis 25. September 2009, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009

Both, Petra von; *Koch, Volker; Kindsvater, Andreas* (2012) BIM Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan: Analyse der Potentiale und Hemmnisse bei der Umsetzung der integrierten Planungsmethodik Building Information Modeling - BIM - in der deutschen Baubranche und Ableitung eines Handlungsplanes zur Verbesserung der Wettbewerbssituation

Botsis, Dionysios; Hansknecht, Stephan; Hauke, Christoph; Janssen, Nils; Kaiser, Björn; Rock, Thomas (2015) Kennzahlen und Kennzahlensysteme für Banken, Wiesbaden: Springer Gabler, 2015

British Embassy Santiago (Hrsg.) (28.11.2017) Experts promote use of Building Information Modelling protocols in Chile, https://www.gov.uk/government/news/experts-promote-use-of-building-information-modelling-protocols-in-chile [Letzter Zugriff 2020-03-01]

The British Standard Institution; Department for Business, Energy and Industrial Strategy (Hrsg.) (2019) About BIM Level 2, https://bim-level2.org/en/about/ [Letzter Zugriff 2020-03-01]

The British Standards Institution PAS 1192-2:2013 (2013) Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling

Brugger, Ralph (2009) Der IT Business Case: Kosten erfassen und analysieren, Nutzen erkennen und quantifizieren, Wirtschaftlichkeit nachweisen und realisieren, 2. Aufl., s.l.: Springer-Verlag, 2009

Bryde, David; Broquetas, Marti; Volm, Jürgen Marc (2013) The project benefits of BIM, in: International Journal of Project Management (2013)31, S. 971-980, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786312001779 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Brynjolfsson, Erik (1993) The Productivity Paradox of Information Technology, in: ACM 36 (1993)12, S. 67-77

buildingSMART International (Hrsg.) (07.02.2018) buildingSMART Russia, https://www.buildingsmart.org/buildingsmart-russia/ [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019) BIM Maturity Tool, https://www.buildingsmart.org/users/services/bim-maturity-assessment/ [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Bundesarchitektenkammer (Hrsg.) (2017) BIM für Architekten: Leistungsbild Vertrag Vergütung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2019) Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2019, Bonn: BBSR, 2019

Bundesministerium der Finanzen Rundschreiben Arbeitsanleitung Einführung in Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen vom 2017 (GMBl 2017 Nr. 45, S. 834), http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_20122013_IIA3H1012100810004.htm [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2014) Leitfaden WU Hochbau: Leitfaden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (WU) bei der Vorbereitung von Hochbaumaßnahmen des Bundes, 3. Aufl.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Erlass BIM vom 16.1.2017

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2013) Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, https://www.bmvi.de/SharedDocs/

DE/Artikel/StB/oepp-wirtschaftlichkeitsuntersuchung-methodik.html?nn=12830 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2015) Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken, http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2017) Umsetzung des Stufenplans Digitales Planen und Bauen, https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bim-umsetzung-stufenplan-erster-fortschrittsbe.pdf?__blob=publicationFile [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Busker, Herni; Iglesias, Iselie; Faust, Alexander; Packwitz, Christian (2017) BIM-Monitor 2017: Trends und Entwicklungen

Cambridge Dictionary (Hrsg.) (2018a) Building, https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/building [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2018b) Facility, https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/facility [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019a) Capability, https://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch-deutsch/capability [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019b) Digitization, https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/digitize?q=digitization [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019c) Maturity, https://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch-deutsch/maturity [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Cannistraro, Michael P. (2010) Saving through collaboration: A case study on the value of BIM, in: Journal of Building Information Modeling (2010), S. 29-30

Castro-Lacouture, Daniel; Irizarry, Javier; Ashuri, Baabak (Hrsg.) (2014) Construction Research Congress 2014: Construction in a global network : proceedings of the 2014 Construction Research Congress, May 19-21, 2014, Atlanta, Georgia, USA, Reston, Va.: American Society of Civil Engineers, 2014

Center for Integrated Facility Management (Hrsg.) (2017) VDC Scorecard, 7. Aufl., https://vdcscorecard.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj8856/f/vdc_full_version.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019a) Introduction to VDC, https://vdcscorecard.stanford.edu/introduction-vdc [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019b) Key Findings, https://vdcscorecard.stanford.edu/key-findings [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019c) Survey Input Forms, https://vdcscorecard.stanford.edu/survey-input-forms [Letzter Zugriff 2020-03-01]

(2016) The 40th Australasian Universities Building Education Association, 2016

Computer Integrated Construction Research Programm (Hrsg.) (2011) BIM Projet Execution Planning Guide, 2. Aufl.

- (Hrsg.) (2013) BIM Planning Guide for Facility Owners, 2. Aufl.

Conject AG (Hrsg.) (2016) BIM-Umfrage 2016: Auswertung, https://interaction.conject.com/rs/conject/images/CONJECT-BIM-Umfrage_Auswertung_DE.pdf?mkt_tok=3RkMMJWWfF9wsRovvqjIZKXonjHpfsX77%2B4qUKa3lMI%2F0ER3fOvrPUfGjI4GTcVnI%2BSLDwEYGJlv6SgFTLDHMbRszbgJWxA%3D [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Dakhil, Ammar (2017) Building Information Modelling (BIM) maturity-benefits assessment relationship framework for UK construction clients, Dissertation, Salford

Daub, Sandra (2018) Literature research on the costs and benefits of the application of Building Information Modeling, Bachelorarbeit

Deubel, Maximilian; Haghsheno, Shervin (2016) Auswirkungen von BIM auf die Lebenszykluskosten von Immobilien: Eine Betrachtung des Status quo, in: *Rainer Schach/Peter Jehle* (Hrsg.), 27. BBB-Assistententreffen, 2016, S. 63-72

- (2017) Empirische Untersuchung der Anforderungen an den Arbeitsmarkt durch den Einsatz von BIM, in: Bauwirtschaft 2 (2017) 1, S. 6-9

Deubel, Maximilian; Halter, Julian (2019) Identifikation, Analyse und Vergleich von Reifegradmodellen für Building Information Modeling (BIM), in: *Shervin Haghsheno/Kunibert Lennerts/Sascha Gentes* (Hrsg.), 30. BBB-Assistententreffen, 2019, S. 70-86

Deubel, Maximilian; Schoch, Axel; Haghsheno, Shervin (2016) BIM: Anforderungen des Arbeitsmarktes, in: tHIS (2016)8, S. 104-105

Deubel, Maximilian; Wolber, Jan; Haghsheno, Shervin (2018) Identifikation, Analyse und Kategorisierung von BIM-Anwendungsfällen, in: Bauingenieur 93 (2018) 7/8, S. 295-303

Deutsches Institut für Normung 69901-2 (2009) Projektmanagement - Projektmanagementsysteme

Deutsches Institut für Normung 69901-5 (2009) Projektmanagement - Projektmanagementsysteme

*Deutsches Institut für Normung*10209 (2012) Technische Produktdokumentation – Vokabular

Deutsches Institut für Normung 19650-1 (2017) Organisation von Daten zu Bauwerken - Informationsmanagement mit BIM - Teil 1 Konzepte und Grundsätze

Deutsches Institut für Normung 19650-2 (2017) Organisation von Daten zu Bauwerken - Informationsmanagement mit BIM - Teil 2: Lieferphase der Assets

Deutsches Institut für Normung 29481-1 (2018) Bauwerksinformationsmodelle - Handbuch der Informationslieferungen - Teil 1: Methodik und Format

Dodge Data & Analytics (Hrsg.) (2015) Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings

- (Hrsg.) (2017a) The Business Value of BIM in the Middle East

- (Hrsg.) (2017b) Die Vorteile von BIM für den Infrastruktursektor 2017

- (Hrsg.) (2018) The Business Value of BIM for Water Projects

Du, Jing; Liu, Rui; Issa, Raja Raymond (2014) BIM Cloud Score: Benchmarking BIM Performance, in: Journal of Construction Engineering and Management (2014)11, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000891 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Eastman, Charles (2018) Biography, https://arch.gatech.edu/people/charles-eastman [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Eastman, Charles; Fisher, David; Lafue, Gilles; Lvidini, Joseph; Stoker, Douglas; Yessios, Christos (1974) An Outline of the Building Description System, Pittsburgh

Egger, Martin; Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas; Przybylo, Jakob (2013) BIM-Leitfaden für Deutschland: Information und Ratgeber. Forschungsinitiative Zukunft Bau

Eichhorn, Peter; Merk, Joachim (2016) Das Prinzip Wirtschaftlichkeit: Basiswissen der Betriebswirtschaftslehre, 4. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2016

Engelbart, Douglas C (1962) Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framwork, Stanford

EU BIM Taskgroup (Hrsg.) (2017) Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector, http://www.eubim.eu/downloads/EU_BIM_Task_Group_Handbook_FINAL.PDF [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Fiedler, Martin (Hrsg.) (2018) Lean Construction - Das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018

Franz, Bryan; Messner, John (2017) Evaluating the Impact of BIM on Project Performance

- (2019) Evaluating the Impact of Building Information Modeling on Project Performance, in: Journal of Computing in Civil Engineering 33 (2019)3

Frensch, Lars (01.11.2018) Hacker stehlen von französischem Bauunternehmen Pläne von Atomanlagen, in: Handelsblatt 1.11.2018, https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/cyber-angriff-hacker-stehlen-von-franzoesischem-bauunternehmen-plaene-von-atomanlagen/23258126.html [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael A. (2017) The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?, in: Technological Forecasting and Social Change 114 (2017) C, S. 254-280, http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Gabler Wirtschaftslexikon (Hrsg.) (2018a) Strategisches Management, https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/strategisches-management-46326/version-269608 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2018b) White Paper, https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/white-paper-52679/version-275797 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2019) Hawthorne-Effekt, https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/hawthorne-effekt-36293/version-259750 [Zugriff 2019-08-14]

Gao, Ju (2011) A Characterization Framework to Document and Compare BIM Implementations on Construction Projects, Dissertation, Stanford

Gehalt.de (Hrsg.) (2019) Durchschnittliche BIM-Manager und Konstrukteur Gehälter, https://www.gehalt.de/einkommen/suche/bim-manager [Zugriff 2019-08-12]

Gerbert, Philipp; Castagnino, Santiago; Rothballer, Christoph; Renz, Andreas; Filitz, Rainer (2016) Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling

Giel, Brittany Kathleen (2009) Return on Investment Analysis of Building Information Modeling in Construction, Masterthesis, Miami

Giel, Brittany Kathleen; Issa, Raja Raymond (2011) BIM Return on Investment: A Case Study, in: Journal of Building Information Modeling (2011), S. 24-27

- (2013a) Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction, in: Journal of Computing in Civil Engineering (2013) Volume 27, Issue 5, S. 511-521

- (2013b) Synthesis of Existing BIM Maturity Toolsets to Evaluate Building Owners, in: *American Society of Civil Engineers* (Hrsg.), ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2013, S. 451-458

- (2014) Framework for Evaluating the BIM Competencies of Building Owners, in: *American Society of Civil Engineers* (Hrsg.), 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2014, S. 552-559

Golinski, Ralf Stefan (2018) Ergebnisse der BIM-Umfrage bei Teilnehmern der BIM World MUNICH 2018, https://www.immo-kom.com/wp-content/uploads/2019/01/3.-BIM-Umfrage-anl%C3%A4sslich-BIM-WORLD-MUNICH18.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Google Trends (Hrsg.) (2019) Building Information Modeling, https://trends.google.de/trends/explore?date=all&q=%2Fm%2F0b9qp4 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Götze, Uwe (2014) Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, 7. Aufl., Berlin: Springer Gabler, 2014

Götze, Uwe; Weber, Thomas (2008) Total Cost of Ownership, in: Zeitschrift für Planung & Unternehmenssteuerung 19 (2008)2, S. 249-257

Graphisoft (Hrsg.) (2018) Firmengeschichte

Greger, Vanessa; Balta, Dian; Wolf, Petra; Krcmar, Helmut (2015) Integratives Benefits Management von E-Government-Projekten: Nutzenpotentiale identifizieren und realisieren, München

Haghsheno, Shervin (2004) Analyse der Chancen und Risiken des GMP-Vertrags bei der Abwicklung von Bauprojekten, Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2004, Berlin: Mensch & Buch Verl., 2004

Haghsheno, Shervin; Deubel, Maximilian (2017) BIM-Anwendungsfälle im Rahmen der Beauftragung von Bauunternehmen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Unternehmereinsatzformen, in: Bauwirtschaft 2 (2017)2, S. 60-66

Haghsheno, Shervin; Deubel, Maximilian; Spenner, Leopold (2019) Digitale Technologien und deren Wertschöpfungspotenziale für die Bauwirtschaft, in: Bauingenieur 94 (2019)2, S. 45-55

Haghsheno, Shervin; Lennerts, Kunibert; Gentes, Sascha (Hrsg.) (2019) 30. BBB-Assistententreffen: KIT Scientific Publishing, 2019

Ham, Namhyuk; Moon, Sungkon; Kim, Ju-Hyung; Kim, Jae-Jun (2018) Economic Analysis of Design Errors in BIM-Based High-Rise Construction Projects: Case Study of Haeundae L Project, in: Journal of Construction Engineering and Management 144 (2018)6, S. 5018006

Hamil, Stephen (21.10.2016) BIM Level 2 - Was it worth it?, https://www.thenbs.com/knowledge/bim-level-2-was-it-worth-it [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Haugbolle, Kim (Hrsg.) (2015) 6th International Conference on Construction Engineering and Project Management (ICCEPM 2015), 2015

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie; Zentralverband Deutsches Baugewerbe (Hrsg.) (2016) KLR Bau: Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung der Bauunternehmen, 8. Aufl., Köln: Rudolf Müller, 2016

Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas (2016) BIM-Kompendium: Building Information Modeling als neue Planungsmethode, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016

Hirschmeier, Markus (2005) Wirtschaftlichkeitsanalysen für IT-Investitionen, Dissertation Universtität Nürnberg Erlangen, Berlin: WiKu-Verl., 2005

HM Government (Hrsg.) (2015) Digital Built Britain: Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/410096/bis-15-155-digital-built-britain-level-3-strategy.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2017) Creating a Digital Built Britain: what you need to know, https://www.gov.uk/guidance/creating-a-digital-built-britain-what-you-need-to-know [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Hochtief Vicon (Hrsg.) (2018) 10 Jahre ViCon - 10 BIM-Anwendungsfälle, http://www.hochtief-vicon.com/vicon/News/10-Jahre-ViCon---10-BIM-Anwendungsfaelle-39_76.jhtml [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Hoffer, Erin Rae (2018) Erzielen des strategischen ROI, http://static-dc.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/roi-ebook/fy15-q1-aec-btt-ebook-roi-bim-de.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Horváth, Péter (Hrsg.) (1988) Wirtschaftlichkeit neuer Produktions- und Informationstechnologien: Tagungsbd. Stuttgarter Controller-Forum, 14. - 15. Sept. 1988, Stuttgart: Poeschel, 1988

HP Deutschland GmbH (Hrsg.) (2019) Preise für HP Workstation, https://store.hp.com/GermanyStore/Merch/Product.aspx?id=6QN59EA&opt=ABD&sel=WKS&p=b-z4-z6-z8 [Zugriff 2019-08-12]

Huang, Chien-Hsun; Hsieh, Shang-Hsien (2015) A Case Study on Assessing the Productivity of a BIM team in a Construction Company, in: *Kim Haugbolle* (Hrsg.), 6th International Conference on Construction Engineering and Project Management (ICCEPM 2015), 2015, https://doi.org/10.13140/rg.2.1.3821.6403

Huhnt, Wolfgang (2018) Modelle dienen einem Zweck: Anmerkungen zu standardisierten Formaten für digitale Bauwerksmodelle, in: Bauingenieur 93 (2018)11, S. 438-446

Indiana University (Hrsg.) (2015) BIM Guidelines & Standards for Architects, Engineers, and Contractors, 2. Aufl., http://www.indiana.edu/~uao/docs/standards/IU%20BIM%20Guidelines%20and%20Standards.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Institut für Wissenschaftliche Weiterbildung der Hochschule Karlsruhe (Hrsg.) (2019) Berufsbegleitendes Zertifikatsstudium BIM, https://www.hs-karlsruhe.de/fileadmin/hska/IWW/BIM/IWW_Flyer_BIM_Gesamt.pdf [Zugriff 2019-08-12]

Institute of Public Works Engineering Australasia (Hrsg.) (2014) Sustainability in Public Works Conference, 2014

International Council for Research and Innovation in Building and Construction (Hrsg.) (2015) Proceedings of the 32nd International Conference of CIB W78, 2015

Irani, Zahir (1998) Investment Justification of Information Systems: A Focus on the Evaluation of MRPII, Dissertation, London

Issa, Raja Raymond; Flood, Ian (Hrsg.) (2014) International Conference on Computing in Civil and Building Engineering: American Society of Civil Engineers, 2014

Jensen, Charles (2015) BIM Maturity Measurement tool, https://www.ice.org.uk/knowledge-and-resources/best-practice/bim-maturity-measurement-tool [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Kähkönen, Kalle; Keinänen, Marko (Hrsg.) (2016) Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume I - Creating built environments of new opportunities, 2016

Kam, Calvin; Senaratna, Devini; McKinney, Brian; Xiao, Yao; Song, Min (2016) The VDC Scorecard: Formulation and Validation, 3. Aufl., Stanford Working Paper 135

Kaplan, Robert S; Norton, David P (1992) The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance, in: Harvard Business Review (1992) January - February, S. 71-79

Karl, Christian K.; Spengler, Armin (2018) Zack und weg!, https://www.build-ing.de/fachartikel/detail/zack-und-weg/ [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Khan, Ricardo (2015) BIM and VDC: The Mortenson Perspective, http://blog.synchroltd.com/bim-and-vdc-defined-the-mortenson-perspective [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Klemt-Albert, Katharina; Bahlau, Sascha (2017) Das BIM-Modell als Single Source of Truth, in: Bauwirtschaft 2 (2017)2, S. 74-79

Koo, Bonsang; Fischer, Martin (1998) Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282000%29126%3A4%28251%29 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2000) Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, in: Journal of Construction Engineering and Management 126 (2000), S. 251-260, https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:4(251)

Koo, Bonsang; Shin, Byungjin; Lee, Ghang (2017) A cost-plus estimating framework for BIM related design and engineering services, in: KSCE Journal of Civil Engineering 21 (2017), S. 2558-2566, https://doi.org/10.1007/s12205-017-1808-y

Korn, Michael; Teizer, Klaus; Obhof, Laura (2016) Effizienzvergleich der BIM-basierten Arbeitsweise mit der klassischen Kalkulations- und Ausschreibungsmethode, in: *Wolfgang Pollety* (Hrsg.), RKW Informationen Bau-Rationalisierung, 2016, S. 7-10

Kornmeier, Martin (2018) Wissenschaftlich schreiben leicht gemacht: Für Bachelor, Master und Dissertation, 8. Aufl., Stuttgart/Bern: UTB GmbH; Haupt, 2018

Krämer, Markus (2015) Building Information Modeling aus der Sicht von Eigentümern und dem Facility Management, in: *Regina Zeitner/Marion Peyinghaus* (Hrsg.), IT-Management Real Estate: Lösungen für digitale Kernkompetenzen, 2015, S. 371-392

Krcmar, Helmut (2015) Informationsmanagement, 6. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2015

Kreider, Ralph; Messner, John (2013) The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses, http://bim.psu.edu/uses/the_uses_of_bim.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2015) A Model Use Ontology, in: *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (Hrsg.), Proceedings of the 32nd International Conference of CIB W78, 2015, S. 432-439

Kreider, Ralph; Messner, John; Dubler, Craig (2010) Determining the frequency and impact of applying bim for different purposes on projects, http://bim.psu.edu/Uses/Freq-Benefit/BIM_Use-2010_Innovation_in_AEC-Kreider_Messner_Dubler.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Kubicek, Herbert; Lofthouse, Bettina (2010) Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von IT-Projekten: Die frühen Phasen des Projektmanagements, Heidelberg: dpunkt.Verl., 2010

Kühnapfel, Jörg B. (2019) Vertriebskennzahlen: Kennzahlen und Kennzahlensysteme für das Vertriebsmanagement, 2. Aufl., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019

Kunz, John; Fischer, Martin (2012) Virtual design and construction: Themes, case studies and implementation suggestions, 14. Aufl., Stanford Working Paper 97

Landesbauordnung für Baden-Württemberg vom 2010 (GBl. 2010, 357, 358, ber. S. 416)

Lee, Ghang; Park, Harrison Kwangho; Won, Jongsung (2012) D3 City project — Economic impact of BIM-assisted design validation, in: Automation in Construction 22 (2012), S. 577-586, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.12.003

LeFevre, Michael (2011) No BIM for You: The Case for Not Doing BIM - Leverage Points, Reframing and Key Decision Factors in BIM Transformation, in: Journal of Building Information Modeling (2011), S. 14-17, https://cdn.ymaws.com/www.nibs.org/resource/resmgr/jnibs/jbim_spring11.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Li, Jian; Hou, Lei; Wang, Xiangyu; Wang, Jun; Guo, Jun; Zhang, Shaohua; Jiao, Yi (2014) A Project-Based Quantification of BIM Benefits, in: International Journal of Advanced Robotic Systems 11 (2014), S. 123, https://doi.org/10.5772/58448

Liebich, Thomas; Schweer, Carl Stephan; Wernik, Siegfried (2011) BIM HOAI Gutachten: Die Auswirkungen von BIM auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung, http://www.irbnet.de/daten/baufo/20118035383/Endbericht.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Lu, Weisheng; Fung, Ada; Peng, Yi; Liang, Cong; Rowlinson, Steve (2014) Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves, in: Building and Environment 82 (2014), S. 317-327, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.030

Lu, Weisheng; Liang, Cong; Fung, Ada; Rowlinson, Steve (2014) Demystifying the time-effort distribution curves in construction projects: A BIM and non-BIM Comparison, in: *Daniel Castro-Lacouture/Javier Irizarry/Baabak Ashuri* (Hrsg.), Construction Research Congress 2014: Construction in a global network : proceedings of the 2014 Construction Research Congress, May 19-21, 2014, Atlanta, Georgia, USA, 2014, S. 329-338, https://doi.org/10.1061/9780784413517.034

Lück, Helmut E. (2009) Der Hawthorne-Effekt - ein Effekt für viele Gelegenheiten?, in: Gruppendynamik und Organisationsberatung 40 (2009) 1, S. 102-114

Lymath, Anthony (2014) The 20 key BIM terms you need to know, <https://www.thenbs.com/knowledge/the-20-key-bim-terms-you-need-to-know> [Letzter Zugriff 2020-03-01]

MacKenzie, I. Scott (2013) Human-computer interaction: An empirical research perspective, Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2013

Mansson, Daniel W; Sanchez, Adriana X; Hampson, Keith D; Lindahl, Göran (2016) Assessing BIM performance through self-assessed benchmarking, in: *Kalle Kähkönen/Marko Keinänen* (Hrsg.), Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume I - Creating built environments of new opportunities, 2016, 635-646

May, Ilka (2014) BIM-Strategie Deutschland (Skizze): Digitalisierung der Wertschöpfungskette Bau, https://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&id=1918&name=May_Digitalisierung_Wertsch%C3%B6pfungskette_Bau_004.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

McGraw-Hill Construction (Hrsg.) (2010) The Business Value of BIM in Europe

- (Hrsg.) (2014a) The Business Value of BIM for Owners: SmartMarket Report, http://i2sl.org/elibrary/documents/Business_Value_of_BIM_for_Owners_SMR_(2014).pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2014b) Der unternehmerische Vorteil von BIM im Bauwesen in großen Weltmärkten: SmartMarket Report

Mell, Peter; Grance, Timothy (2011) The NIST Definition of Cloud Computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, 800. Aufl.

Mensch und Maschine (Hrsg.) (2019a) BIM-Konstruktion: Ausbildung für Bauingenieure, https://www.mum.de/seminarreihe/reihe-bimkonstruktion-ausbildung-fuer-bauingenieure?location=d-73230-kirchheim-unter-teck&start=18.09.2019 [Zugriff 2019-08-12]

- (Hrsg.) (2019b) BIM-Koordination, https://www.mum.de/seminarreihe/bim-ready-bim-koordination-5-taegig?location=d-65205-wiesbaden&start=11.09.2019 [Zugriff 2019-08-12]

- (Hrsg.) (2019c) BIM-Management, https://www.mum.de/seminare/seminarueberblick/bim-ready-ausbildung-schulung-kurs-training/bim-management [Zugriff 2019-08-12]

Mertens, Peter (1982) Betriebswirtschaftliche Nutzeffekte und Schäden der EDV: Ergebnisse des NSI-Projektes, in: Journal of Business Economics 52 (1982)2, S. 135-154

Mertens, Peter; Barbian, Dina; Baier, Stephan (2017) Digitalisierung und Industrie 4.0 - eine Relativierung, Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2017

Ministerium des Innern des Landes Brandenburg (Hrsg.) (2012) Leitfaden für die Erstellung kommunaler Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Möller, Dietrich-Alexander; Kalusche, Wolfdietrich (2013) Planungs- und Bauökonomie: Wirtschaftslehre für Bauherren und Architekten, 6. Aufl., München: Oldenbourg, 2013

Montague, Ralph (2016) Building Information Modelling: What information is in the model?, https://www.thenbs.com/knowledge/building-information-modelling-what-information-is-in-the-model [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Nagel, Kurt (1990) Nutzen der Informationsverarbeitung: Methoden zur Bewertung von strategischen Wettbewerbsvorteilen, Produktivitätsverbesserungen und Kosteneinsparungen, 2. Aufl., München: Oldenbourg, 1990

National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance (Hrsg.) (2007) National Building Information Modeling Standard: Part 1

- (Hrsg.) (2015a) National BIM Standard - United States: Factsheet, https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2015b) National BIM Standard - United States: Minimum BIM - Second Edition, 3. Aufl., https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_V3_5.2_Minimum_BIM.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

NBS (Hrsg.) (2018) National BIM Report, 8. Aufl., https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Niederdrenk, Ralph; Seemann, Ralph (2018) Baubranche aktuell: Wachstum 2020 - Digitalisierung und BIM, https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/baubranche-aktuell-wachstum-2020-maerz-2018.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Niemeier, Joachim (1988) Konzepte der Wirtschaftlichkeitsberechnung bei integrierten Informationssystemen, in: *Péter Horváth* (Hrsg.), Wirtschaftlichkeit neuer Produktions- und Informationstechnologien: Tagungsbd. Stuttgarter Controller-Forum, 14. - 15. Sept. 1988, 1988, S. 15-34

Nisbet, Nick; Dinesen, Betzy (2010) Constructing the business case - building information modelling: BuildingSMART, 2010

Olfert, Klaus; Rahn, Horst-Joachim (2017) Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 12. Aufl., Herne: Kiehl, 2017

Pape, Ulrich (2018) Grundlagen der Finanzierung und Investition: Mit Fallbeispielen und Übungen, 4. Aufl., Berlin: De Gruyter Oldenbourg, 2018

Paulk, Mark C.; Curtis, Bill; Chrissis, Mary Beth; Weber, Charles V. (1993) Capability Maturity Model for Software, Pittsburgh

Paulson, Boyd C (1976) Designing to Reduce Construction Costs, in: Journal of the Construction Division (1976), S. 587-592

Penn State University (Hrsg.) (2015) Computer Integrated Construction Research Programm: Meet the CIC Team, https://www.pennstatecic.org/people.html [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Philipp, Sabine (2019) Wie wird man BIM-Manager?, https://www.ingenieur.de/karriere/arbeitsleben/alltag/wie-wird-man-bim-manager/ [Zugriff 2019-08-12]

Picot, Arnold; Reichwald, Ralf (1984) Bürokommunikation: Leitsätze für den Anwender, 2. Aufl., München: CW-Publikationen, 1984

Pietsch, Thomas (2003) Bewertung von Informations- und Kommunikationssystemen: Ein Vergleich betriebswirtschaftlicher Verfahren, 2. Aufl., Berlin: Schmidt, 2003

planen bauen 4.0 (Hrsg.) (2015) Konzept zur schrittweisen Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken – Stufenplan zur Einführung von BIM, https://www.ing-net.de/o.red/theme/files/datei/1470219475-stufenplanbimendbericht.pdf [Zugriff 2019-09-11]

Poirier, Erik; Staub-French, Sheryl; Forgues, Daniel (2015) Measuring the impact of BIM on labor productivity: In a small specialty contracting enterprise through action-research, in: Automation in Construction (2015)58, S. 74-84, http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Pollety, Wolfgang (Hrsg.) (2016) RKW Informationen Bau-Rationalisierung, Eschborn, 2016

PricewaterhouseCoopers (Hrsg.) (2019) Digitalisierung der deutschen Bauindustrie, https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digitalisierung-der-deutschen-bauindustrie-2019.pdf?utm_source=baulinks&utm_campaign=baulinks [Letzter Zugriff 2020-03-01]

ProjektMagazin (Hrsg.) (2019) Reifegrad - Definiton im Projektmanagement, https://www.projektmagazin.de/glossarterm/reifegrad [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Qi, Han; Gani, Abdullah (2012) Research on Mobile Cloud Computing: Review, Trend and Perspectives, in: *University of the Thai Chamber of Commerce* (Hrsg.), Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and it's Applications, 2012, S. 195-202

Qian, Ang Yu (2012) Benefits and ROI of BIM for multi-disciplinary project management, Bachelor, Singapore

Quirk, Vanessa (2012) A Brief History of BIM, https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Reddy, K. Pramod (2012) BIM for building owners and developers: Making a business case for using BIM on projects, Hoboken, N.J.: John Wiley and Sons, 2012

Reizgevičius, Marius; Ustinovičius, Leonas; Cibulskienė, Diana; Kutut, Vladislavas; Nazarko, Lukasz (2018) Promoting Sustainability through Investment in Building Information Modeling (BIM) Technologies: A Design Company Perspective, in: Sustainability 10 (2018), S. 600, https://doi.org/10.3390/su10030600

RIB Software SE (Hrsg.) What is iTWO 4.0?, https://www.itwo.com/en/5d-bim-enterprise-platform-itwo-4-0/ [Zugriff 2019-08-17]

- (Hrsg.) (2019) iTWO für externe Dienstleister der DB AG, https://www.rib-software.com/loesungen/itwo-db/ [Zugriff 2019-08-13]

Saari, Arto; Huovinen, Pekka (Hrsg.) (2015) Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume III - Building Up Business Operations and Their Logic. Shaping Materials and Technologies, 2015

Sackey, E; Tuuli, M; Dainty, A (2013) BIM Implementation: From Capability Maturity Models to Implementation Strategy, in: *Robby Soetanto/Neil Tsang/Abdullahi Ahmed* (Hrsg.), Proceedings of Sustainable Building and Construction Conference: Integrated Approaches to Sustainable Building: Developing Theory and Practice through International Collaboration and Learning, 2013, S. 196-207

Sacks, Rafael; Eastman, Charles M.; Lee, Ghang; Teicholz, Paul M. (2018) BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2018

Salih, Sen (2012) The Impact of BIM/VDC on ROI: Developing a Financial Model for Savings and ROI Calculation of Construction Projects, Masterarbeit

Sanchez, Adriana X; Hampson, Keith D; Mohamed, Sherif (2015) Delivering Value with BIM: A Framework for Built Environment Practitioners, in: *Arto Saari/Pekka Huovinen* (Hrsg.), Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume III - Building Up Business Operations and Their Logic. Shaping Materials and Technologies, 2015, S. 272-283

Sanchez, Adriana X; Hampson, Keith D; Vaux, Simon (Hrsg.) (2016) Delivering Value with BIM: A whole-of-life approach, London: Taylor and Francis, 2016

Sanchez, Adriana X; Kraatz, Judy A; Hampson, Keith D (2014) BIM for Sustainable Whole-of-life Transport Infrastructure Asset Management, in: *Institute of Public Works Engineering Australasia* (Hrsg.), Sustainability in Public Works Conference, 2014, S. 7

Sandt, Joachim (2005) Performance measurement: Übersicht über Forschungsentwicklung und -stand, in: Controlling und Management 49 (2005)6, S. 429-447, https://link.springer.com/article/10.1007/BF03249635 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Schach, Rainer; Jehle, Peter (Hrsg.) (2016) 27. BBB-Assistententreffen, Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Baubetriebswesen, 2016

Schierenbeck, Henner; Wöhle, Claudia B. (2016) Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, 19. Aufl.: De Gruyter Oldenbourg, 2016

Schilling Miguel, Daniel (2017) Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Building Information Modeling aus Bauunternehmersicht im Rahmen der Angebotsphase von Bauprojekten, Masterarbeit, Karlsruhe

Schober, Kai Stefan; Hoff, Philipp; Lecat, Ambroise; de Thieulloy, Georges; Siepen, Sven (2017) Turning point for the construction industry: The disruptive impact of BIM, München

Schöffski, Oliver; Graf von der Schulenburg, Matthias J (Hrsg.) (2012) Gesundheitsökonomische Evaluationen, Dordrecht: Springer, 2012

Schumann, Matthias (1993) Wirtschaftlichkeitsbeurteilung für IV-Systeme, in: Wirtschaftsinformatik 35 (1993)2, S. 167-178

Schwerdtner, Patrick (2018) Nutzung von BIM in der Angebotsbearbeitung: Eine Sollbruchstelle in der digitalen Prozesskette?, in: Bautechnik 95 (2018), S. 222-228, https://doi.org/10.1002/bate.201700113

Sebastian, Rizal; van Berlo, Léon (2010) Tool for Benchmarking BIM Performance of Design, Engineering and Construction Firms in The Netherlands, in: Architectural Engineering and Design Management 6 (2010)4, S. 254-263, http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3763/aedm.2010.IDDS3 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Shin, Min Ho; Lee, Hye Kyung; Kim, Hwan Yong (2018) Benefit–Cost Analysis of Building Information Modeling (BIM) in a Railway Site, in: Sustainability 10 (2018)11, https://doi.org/10.3390/su10114303 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Soetanto, Robby; Tsang, Neil; Ahmed, Abdullahi (Hrsg.) (2013) Proceedings of Sustainable Building and Construction Conference: Integrated Approaches to Sustainable Building: Developing Theory and Practice through International Collaboration and Learning, 2013

Stachowiak, Herbert (1973) Allgemeine Modelltheorie, Wien: Springer, 1973

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2008) Klassifikation der Wirtschaftszweige: Mit Erläuterungen, https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2008-3100100089004.pdf?__blob=publicationFile [Zugriff 2019-09-08]

- (Hrsg.) (2017) Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Inlandsproduktberechnung Detaillierte Jahresergebnisse 2017 Artikelnummer: 2180140187004

- (Hrsg.) (2019a) Kennzahlen der Unternehmen im Baugewerbe 2016, https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Tabellen/kennzahlen-baugewerbe.html [Zugriff 2019-08-18]

- (Hrsg.) (2019b) Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Inlandsproduktberechnung Lange Reihen ab 1970, https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/inlandsprodukt-lange-reihen-pdf-2180150.pdf?__blob=publicationFile [Zugriff 2019-09-08]

Stickel, Eberhard (1995) Wettbewerbsorientierte Informationssysteme und Produktivitätsparadoxon, in: Wirtschaftsinformatik 37 (1995)5, S. 548-557

- (1997) IT-Investitionen zur Informationsbeschaffung und Produktivitätsparadoxon, in: Die Betriebswirtschaft 57 (1997) 1, S. 65-72

Stowe, Ken; Zhang, Sijie; Teizer, Jochen; Jaselskis, Edward J. (2015) Capturing the Return on Investment of All-In Building Information Modeling: Structured Approach, in: Practice Periodical on Structural Design and Construction 20 (2015) 1

Succar, Bilal Model Richness Variable, https://bimdictionary.com/en/model-richness-variable/1/ [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2010) Building Information Modelling Maturity Matrix, in: *Jason Underwood/Umit Isikdag* (Hrsg.), Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies, 2010, S. 65-102

- (2013a) BIM Maturity Index, https://www.bimframework.info/2013/12/bim-maturity-index.html [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2013b) Building Information Modelling: conceptual constructs and performance improvement tools, Dissertation, Callaghan

- (2014a) Individual Comptency Index, https://www.bimframework.info/2014/03/individual-competency-index.html [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2014b) Macro Maturity Components, https://www.bimframework.info/2014/07/macro-maturity-components.html [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2015) Understanding Model Uses: Peer-reviewed BIM ThinkSpace episode, https://www.bimthinkspace.com/2015/09/episode-24-understanding-model-uses.html [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (2019) Model Use Table, http://doi.org/10.5281/zenodo.2550442 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Succar, Bilal; Saleeb, Noha; Sher, Willy (2016) Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language, in: The 40th Australasian Universities Building Education Association, 2016, S. 45-56

Succar, Bilal; Sher, Willy; Williams, Anthony (2012) Measuring BIM performance: Five metrics, in: Architectural Engineering and Design Management 8 (2012)2, S. 120-142, http://dx.doi.org/10.1080/17452007.2012.659506 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Suermann, Patrick C (2009) Evaluating the impact of building information modeling (BIM) on construction, Dissertation, Gainesville

Suermann, Patrick C; Issa, Raja Raymond (2009) Evaluating industry perceptions of building information modeling (BIM) impact on construction, in: Journal of Information Technology in Construction (2009)14, S. 574-594, http://www.itcon.org/data/works/att/2009_37.content.02152.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Teicholz, Paul M.; Ashley, D B (1977) Pre-Estimate Cash Flow Analysis, in: Journal of Construction Division 103 (1977)9, S. 369-379

Thommen, Jean-Paul; Achleitner, Ann-Kristin; Gilbert, Dirk Ulrich; Hachmeister, Dirk; Jarchow, Svenja; Kaiser, Gernot (2018) Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Arbeitsbuch: Repetitionsfragen - Aufgaben - Lösungen, 8. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2018

Thommen, Jean-Paul; Achleitner, Ann-Kristin; Gilbert, Dirk Ulrich; Hachmeister, Dirk; Kaiser, Gernot (2017) Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 8. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2017

Trimble (Hrsg.) (2017) What's the Difference Between 3D CAD, BIM and VDC?, https://constructible.trimble.com/construction-industry/whats-the-difference-between-3d-cad-bim-and-vdc [Letzter Zugriff 2020-03-01]

- (Hrsg.) (2018) VDC und seine Anwendungen im BIM: Ein kurzer Blick auf die Grundlagen, http://mep.trimble.ch/blog/VDC-Anwendungen-BIM [Letzter Zugriff 2020-03-01]

TÜV SÜD AG (Hrsg.) (2019) BIM-Basis Anwender, https://www.tuev-sued.de/akademie-de/seminare-technik/gebaeudetechnik-1/bim/4114027 [Zugriff 2019-08-12]

Underwood, Jason; Isikdag, Umit (Hrsg.) (2010) Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies, Hershey: Information Science Reference, 2010

University of the Thai Chamber of Commerce (Hrsg.) (2012) Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and it's Applications, 2012

Vahs, Dietmar; Schäfer-Kunz, Jan (2015) Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 7. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2015

van Nederveen, Gilles A.; Tolman, Frits P (1992) Modelling multiple views on buildings 1 (1992)3, S. 215-224

Vass, Susanna (2016) The Perceived Business Value of BIM: Results from an International Survey

- (2017) The Business Value of BIM: Elaborating on Content and Perspective, Dissertation, Stockholm

Verein Deutscher Ingenieure 2552 Blatt 7 (2018) Building Information Modeling

Verein Deutscher Ingenieure 2552 Blatt 2 (2018) Building Information Modeling

Verein Deutscher Ingenieure und buildingSMART 2552 Blatt 8.1 (2019) Building Information Modeling

Wallmüller, Ernest (2017) Praxiswissen Digitale Transformation: Den Wandel verstehen, Lösungen entwickeln, Wertschöpfungen steigern, München: Carl Hanser Verlag, 2017

Walter, Sascha G; Spitta, Thorsten (2004) Approaches to the Ex-ante Evaluation of Investments into Information Systems, in: Wirtschaftsinformatik 46 (2004)3, S. 171-180

Wang, Guangbin; Song, Jiule (2017) The relation of perceived benefits and organizational supports to user satisfaction with building information model (BIM), in: Computers in Human Behavior (2017), S. 493-500,

http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2016.12.002 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Weber, Wolfgang; Kabst, Rüdiger; Baum, Matthias (2018) Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 10. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler, 2018

Whang, Seoung-wook; Sang Min, Park (2016) Building Information Modeling (BIM) for Project Value: Quantity Take-Off of Building Frame Approach, in: International Journal of Applied Engineering Research 11 (2016), https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4982.9366

Wieczorrek, Hans W.; Mertens, Peter (2011) Management von IT-Projekten: Von der Planung zur Realisierung, 4. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011

Wöhe, Günter; Döring, Ulrich; Brösel, Gerrit (2016) Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 26. Aufl., München: Verlag Franz Vahlen, 2016

Won, Jongsung; Ghang, Lee (2016) How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach, in: Automation in Construction 69 (2016), S. 34-43, http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.022 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Wu, Chengke; Xu, Bo; Mao, Chao; Li, Xiao (2017) Overview of BIM maturity measurement tools, in: Journal of Information Technology in Construction 22 (2017), S. 34-62, https://www.itcon.org/papers/2017_03-ITcon-Wu.pdf [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Wu, Weidong; Ren, Chuxuan; Wang, Yuhong; Liu, Ting; Li, Ling (2018) DEA-Based Performance Evaluation System for Construction Enterprises Based on BIM Technology, in: Journal of Computing in Civil Engineering 32 (2018)2, https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000722 [Letzter Zugriff 2020-03-01]

Zeitner, Regina; Peyinghaus, Marion (Hrsg.) (2015) IT-Management Real Estate: Lösungen für digitale Kernkompetenzen, Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg, 2015

Zentralverband Deutsches Baugewerbe (Hrsg.) (2017) Einführung von BIM im Bauunternehmen

Zhang, Limao; Wen, Ming; Ashuri, Baabak (2018) BIM Log Mining: Measuring Design Productivity, in: Journal of Civil Engineering and Management 32 (2018) 1,

https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000721

Anhang A
Bestehende Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit

Nr.	Verfahren	Kurzbeschreibung	Nennungen	Bewertung
1	Abschätzung von Wettbewerbswirkungen	Abschätzung der Reaktionen des Wettbewerbs, der Kunden und Lieferanten. Kennzahlen sind z. B. Auftragsdurchlaufzeit oder Qualitätsfaktoren. Umgekehrt wäre es möglich abzuschätzen, welche Marktanteilsreduzierungen durch Nichtverwendung der IT entstünden.	1	5,5
2	Amortisationsrechnung	Bestimmung der Amortisationsdauer, also der Dauer bis das eingesetzte Kapital durch den Nutzen wieder zurückgeflossen ist. Kann statisch oder dynamisch erfolgen. Bei Ersatzinvestitionen: Amortisationsdauer = Kapitaleinsatz/jährliche Kostenersparnis Bei Erweiterungsinvestitionen: Amortisationsdauer = Kapitaleinsatz/jährliche Überschüsse	9	7,0
3	Analogienmethode	Aufwände vergleichbarer Projekte werden herangezogen und im Hinblick auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum neuen Projekt untersucht. Der Fokus liegt nicht auf der absoluten Aufwandsbestimmung sondern auf relativen Unterschieden	1	4,5
4	Analyse der Transaktionskosten	Erfassung von Transaktionskosten (Kosten für z. B. Koordinations- und Kommunikationsaufgaben) und anschließende Abschätzung, inwieweit IT diese Kosten reduzieren kann.	1	5,5
5	Analyse von Nutzeneffekten	Stellt Wirkungszusammenhänge (qualitativ und quantitativ) transparent dar. Primäre Effekte sorgen für sekundäre Veränderungen. Anschließend wir versucht, qualitative Wirkungen zu quantifizieren und quantitative Wirkungen zu monetarisieren	1	5,0
6	Analytischer Hierarchie Prozess	Aufspaltung des Problems in hierarchische Teilprobleme	1	6,5
7	Annuitätenmethode	Variante der Kapitalwertmethode. Während dort der Kapitalwert im Gesamten bestimmt wird, wird er hier in jährlich gleichgroße Annuitäten aufgeteilt (Periodisierung des Kapitalwerts)	8	7,0
8	Äquivalenzziffernrechnung	Versucht Kosten verursachungsgerecht auf einzelne ähnliche Leistungen zu verteilen. Mangelnde Trennung von fixen und variablen Kosten. Für Verteilung von variablen Kosten geeignet.	1	5,0
9	Arbeitssystemwertermittlung	Kombination aus Investitionsrechenverfahren (monetäre Bewertung) und Nutzwertanalyse	2	6,5

Nr.	Verfahren	Kurzbeschreibung	Nennungen	Bewertung
10	Argumente-bilanz	Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen schwer monetarisierbarer Wirkungen verschiedener Entscheidungsalternativen	2	5,5
11	Balanced Scorecard	Bewertung der Unternehmenssituation anhand von vier Schlüsseldimensionen (z. B.: Finanzen, Kunden, Interne Geschäftsprozesse, sowie Lernen und Wachstum)	4	6,0
12	Barwertmethode	Entspricht Kapitalwertmethode, allerdings werden alle Ein- und Auszahlungen auf den Investitionsanfang bezogen.	2	6,5
13	Benchmarking	Vergleichende Analyse von Aufwänden und/oder Nutzen anhand von festgelegten Kennzahlen	2	6,5
14	Benefits Management	Soll sicherstellen, dass der Nutzen von IT (quantitativ und qualitativ) kontinuierlich erfasst und bewertet wird.	1	6,0
15	Capability Maturity Framework	Capability Maturity Framework. Bewertet Nutzenbeitrag der IT für die jeweiligen Geschäftsprozesse in Abhängigkeit des Reifegrads anhand von 37 kritischen Fähigkeiten	1	6,5
16	Dean Modell	Betrachtet Investitions- und Finanzierungsseite. Bestimmt Rendite einzelner Investitionsalternativen und bringt diese in eine Reihenfolge	1	5,5
17	EFQM Modell	Bewertung die Auswirkungen einer IT Investition auf Basis eines Kriterienkatalogs von 9 Kriterienkategorien und 33 Unterkategorien	2	6,0
18	Endwertmethode	Alle Zahlungen werden auf das Ende der Nutzungsdauer bezogen und mit spezifischen Zinssätzen für jede Periode aufgezinst.	2	7,0
19	Excess Tangible Cost Methode	Zerlegung der Kosten und des Nutzens in quantifizierbare und nichtquantifizierbare Bestandteile	1	7,0
20	Funktion-Point-Verfahren	Speziell für IT-Projekte: Bestimmung des zeitlichen bzw. monetären Aufwandes einer IT-Investition auf der Grundlage der Systemfunktionen und standardisierter Einflussfaktoren	1	5,5
21	Gewichtungsmethode	Einflussfaktoren aus der Relationenmethode werden in ein mathematisches Modell überführt und auf das neue Projekt angewandt	1	5,5
22	Gewinnschwellenrechnung	Deckungsbeitragsrechnung oder Break-Even-Analyse. Ausbringungsmenge beeinflusst als einzige Größe die variablen Kosten linear (keine Berücksichtigung von Lagerhaltung oder sprungfixen Kosten). Verkaufspreise werden über variierendes Ausbringungsvolumen als konstant angesehen	1	5,5
23	Gewinnvergleichsrechnung	Vergleich des durchschnittlichen absoluten Gewinns verschiedener Entscheidungsalternativen. Gefahr der Fehleinschätzung, da realisierte mit nicht realisierten Gewinnen verglichen werden. Häufig ist Rentabilität des Kapitals (relativer Gewinn) bedeutender als absoluter Gewinn.	9	6,0
24	Hedonic-Wage-Modell	Bewertung der Nutzen von IT Investitionen anhand der Verschiebung des Tätigkeitsprofils eines Mitarbeiters zu höherwertigen Tätigkeiten	2	5,5

Nr.	Verfahren	Kurzbeschreibung	Nennungen	Bewertung
25	Interne Zinsfuß-Methode	Bestimmung des Zinssatzes mit dem das durch die Investition gebundene Kapital verzinst wird (Internal rate of return).	11	7,0
26	Kapitalwertmethode	Vergleich aller auf den Investitionsbeginn mit dem Kalkulationszinssatz abgezinsten Ein- und Auszahlungen. Problematisch ist Definition des Investitionsobjekts, Schätzung und Zurechnung der Ein- und Auszahlungen sowie Kalkulationszinssatz und Nutzungsdauer	11	7,0
27	Kapitalwertrate	Basiert auf der Kapitalwertmethode und bringt verschiedene Investitionsalternativen in eine Reihenfolge	1	6,0
28	Korrekturverfahren	Nach dem Prinzip der Vorsicht werden die Werte auf die Seite korrigiert, die eine schlechtere Prognose ergeben, um dadurch Ergebnisse zu erhalten, deren Eintrittswahrscheinlichkeit höher ist. Es erfolgt jedoch keine tatsächliche Ursachenanalyse, außerdem können Unsicherheiten mehrfach in die Rechnung eingehen.	1	5,5
29	Kostenmäßige Betrachtung in den Funktionsbereichen	Versucht indirekte Nutzen in den einzelnen Funktionsbereichen zu monetarisieren, basiert allerdings auf groben Schätzungen	1	6,0
30	Kosten-Nutzen-Analyse	Gegenüberstellung der Investitions- und Betriebskosten zu den Einsparungen, die durch die Investition entstehen. Nicht monetarisierbare Wirkungen werden nicht erfasst und indirekte Effekte bleiben i.d.R. unberücksichtigt.	4	6,0
31	Kostenvergleichsrechnung	Kosten eines Zeitraums werden für jede Alternative jeweils ermittelt und miteinander verglichen. Erlösseite wird vernachlässigt bzw. dieser müsste gleich gesetzt werden. Unterscheidung in Gesamtkostenvergleichsrechnung oder Stückkostenvergleichsrechnung	9	6,0
32	Kosten-Wirksamkeits-Analyse	Aufwandsseite wird monetär erfasst (Kosten), Auswirkungen (Nutzen) mit Hilfe von Punktesystem der Nutzwertanalyse nicht-monetär bewertet. Ergebnis kann jedoch nur ordinal eingeteilt werden (Rangordnung)	1	6,0
33	KPI mit Darts	Bewertung der Akzeptanz eines IT-Systems bei den Interessengruppen. Differenziert in Nutzen und Kosten und unterscheidet bei beiden direkte und indirekte Effekte.	1	6,0
34	Multi-Attributive Nutzentheorie	Untersucht Korrelationen kardinaler Nutzenfunktionen	1	7,0
35	Nutzwertanalyse	Vergleich qualitativer Faktoren auf Basis von bewerteten Leistungskriterien. Ergebnis kann jedoch nur ordinal eingeteilt werden (Rangordnung)	7	6,0
36	Ordinale Nutzenermittlung und	Für verschiedene Varianten werden einzelne Nutzen direkt miteinander verglichen und ordinal bewertet (z. B. sehr wichtig, wichtig,	1	5,5

Nr.	Verfahren	Kurzbeschreibung	Nennungen	Bewertung
	paarweiser Vergleich	weniger wichtig) und anschließend die Bewertungsergebnisse in ihrer Gesamtheit miteinander verglichen umso entscheiden zu können ob Variante 1 oder Variante 2 die bessere ist. Zudem werden die Kosten miteinander verglichen.		
37	PROMETHEE	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations. Outranking-Verfahren. Hilft dabei, verschiedene Alternativen zu ordnen	1	6,5
38	Prozentsatzmethode	Bei ähnlichen Projekten verhalten sich Kosten ähnlich. Prozentuale Verteilung von Kosten in einzelnen Phasen wird auf andere Projekte übertragen	1	5,5
39	Prozesskostenrechnung	Aufspaltung des Gemeinkostenblocks mit anschließender verursachergerechter Zuordnung der Kostenbestandteile	4	5,0
40	Relationenmethode	Die Einflussfaktoren auf den Aufwand werden anhand mehrerer abgeschlossenen Projekte identifiziert, um den Einfluss dieser Faktoren beim neuen Projekt abzuschätzen	1	5,0
41	Rentabilitätsrechnung	Bestimmung des Verhältnisses von erzieltem Gewinn zu investiertem Kapital	10	6,5
42	Sensitivitätsanalyse	Inputgrößen werden systematisch variiert, um sie hinsichtlich ihres Einflusses auf das Ergebnis priorisieren zu können und ihre Grenzwerte zu bestimmen, bei denen sie das Ergebnis maßgeblich ändern würden.	6	7,0
43	Simple Multi Attribute Rating Technique	Berücksichtigt qualitative und quantitative Nutzen (Wirkungen) unterschiedlicher Alternativen und bewertet diese	2	5,5
44	Stichprobenmethode	Aufwände werden stichpunktartig erhoben und auf das gesamte Projekt hochgerechnet	1	5,5
45	Time-Saving-Time-Salary-Verfahren	Ermittlung der durch die IT-Maßnahme eingesparten Arbeitszeit pro Arbeitsplatz und Umrechnung in Personalkosteneinsparungen	2	4,5
46	Total Cost of Ownership	Verfahren um alle Kosten (Anschaffung, Nutzung, Wartung etc.) einer Investition zu erfassen. Dazu gibt es viele verschiedene Abwandlungen/Modelle. Differenziert wird zwischen direkten und indirekten Kosten.	3	5,0
47	Vollständiger Finanzplan	Einer Investition zurechenbare Zahlungen werden tabellarisch und differenziert nach jeder Periode aufgeführt.	2	6,0
48	Wertschöpfungsrechnung	Entstehungs- oder Verwendungsrechnung. Gibt Antwort darauf, durch welche betrieblichen Aufwendungen Wertschöpfung entsteht.	1	5,0

Anhang B
Bestehende Untersuchungen zu Aufwand, Nutzen und Wirtschaftlichkeit von BIM

Die Nennung der 125 Quellen erfolgt in alphabetischer Reihenfolge der Spalte Autor/Herausgeber. Hier verwendete Abkürzungen:

Dok.-Typ = Dokumententyp:

- 1 = Beitrag in Tagungsband o. ä.
- 2 = Zeitschriftenaufsatz
- 3 = Monographie/Sammelwerk
- 4 = Hochschulschrift
- 5 = Graue Literatur/Bericht

Kategorie:

- 1 = Umfrage/Interview
- 2 = Fallstudie
- 3 = Modellansatz
- 4 = Sonstige

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Abdirad, Hamid; Pardis, Pishdad-Bozorgi	Trends of Assessing BIM Implementation in Construction Research	2014	2	2		x	x		x							x	
Aibinu, A. A.; Jong, P. de; Wamelink, H.; Koutamanis, A.	Using Effort Distribution Analysis to Evaluate the Performance of BIM Process	2014	1	2+3		x	x			x						x	
Aranda-Mena, Guillermo; Crawford, John; Chevez, Agustin; Froese, Thomas	Building information modelling demystified	2009	2	2					x								
Autodesk	BIM's Return on Investment	2007	5	4		x						x					

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Azhar, Salman	BIM: Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry	2011	2	2		x		x	x			x					
Badrinath, Amamath Chegu; Shang-Hsien, Hsieh	Empirical Approach to Identify Operational Critical Success Factors for BIM Projects	2019	2	2					x						x	x	
Bahlau, Sascha; Klemt-Albert, Katharina	Evaluationen zu den Potenzialen von BIM	2018	2	1	x	x	x		x					x			
Bakis, N; Kagioglou, M; Aouad, Ghassan	Evaluating the Business Benefits of Information Systems	2006	1	4			x		x								
Barlish, Kristen	How To Measure the Beneftis of BIM	2011	4	2			x	x	x							x	
Barlish, Kristen; Sullivan, Kenneth	How to measure the benefits of BIM — A case study approach	2012	2	2		x	x	x	x							x	
Becerik-Gerber, Burcin; Rice, Samara	The perceived value of BIM in the U.S. building industry	2010	2	1					x				x				
Bialas, Frank; Wapelhorst, Vincent; Brokbals, Stefanie; Cadez, Ivan	Quantitative Querschnittsstudie zur BIM-Anwendung in Planungsbüros	2019	2	1	x				x								
BIM4Infra2020	AP 1.2 "Szenariendefinition" AP 1.3 "Empfehlung"	2018	5	1	x	x	x		x					x	x		
Borrmann, André; Elixmann, Robert; Eschenbruch, Klaus et al.	Teil 06: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle	2019	5	4	x	x	x		x					x	x		
Bryde, David; Broquetas, Marti; Volm, Jürgen Marc	The project benefits of BIM	2013	2	2		x			x								
Busker, Herni; Iglesias, Iselie; Faust, Alexander; Packwitz, Christian	BIM-Monitor 2017	2017	5	1	x	x		x	x								

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Cannistraro, Michael P.	Saving through collaboration: A case study on the value of BIM	2010	2	2		x			x				x				
Chou, Hui-Yu; Chen, Pei-Yu	Benefit Evaluation of Implementing BIM in Construction Projects	2017	1	2+3					x					x			
Conject AG	BIM Umfrage 2016	201	5	1	x				x								x
Cusack, Lucas; Saleeb, Noha	The Impact of BIM on the Distribution of Cost and Return on Investment in UK Construction Projects	2016	1	2		x		x				x					
Dakhil, Ammar	BIM maturity-benefits assessment relationship framework for UK construction clients	2017	4	3		x			x								x
Dakhil, Ammar; Underwood, Jason; Al Shawi, Mustafa	BIM benefits-maturity relationship awareness among UK construction clients	2016	1	1					x								x
Deubel, Maximilian; Wolber, Jan; Haghsheno, Shervin	Identifikation, Analyse und Kategorisierung von BIM-Anwendungsfällen	2018	2	1+2	x	x			x					x			
Deutschmann, Fabian	Chancen und Risiken des BIM in der Bauplanung und -ausführung	2017	4	2	x			x	x								
Dodge Data & Analytics	Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings	2015	5	1					x								
Dodge Data & Analytics	The Business Value of BIM in China	2015	5	1					x				x				
Dodge Data & Analytics	The Business Value of BIM in the Middle East	2017	5	1					x				x				

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Dodge Data & Analytics	The Business Value of BIM for Infrastructure 2017	2017	5	1					x				x				
Dodge Data & Analytics	The Business Value of BIM for Water Projects	2018	5	1					x				x				
Dodge Data & Analytics	Die Vorteile von BIM für den Infrastruktursektor 2017	2017	5	1+2	x	x		x	x			x					
Dowsett, Ruth; Harty, Chris	Moving from static to dynamic measures of BIM success	2015	1	2+3					x								
Du, Jing; Liu, Rui; Issa, Raja Raymond	BIM Cloud Score: Benchmarking BIM Performance	2014	2	4		x			x	x							x
Eadie, Robert; Browne, Mike; Odeyinka, Henry; Keown, Clare; McNiff, Sean	BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis	2013	2	1					x						x		
Eguaras-Martínez, María; Vidaurre-Arbizu, Marina; Martín-Gómez, César	Simulation and evaluation of BIM in a real pilot site	2014	2	2					x								
Eldracher, Michael	Potenziale von BIM beim Nachtragsmanagement	2016	4	2	x				x								
Fox, Stephen	Evaluating potential investments in new technologies	2008	2	2			x		x		x						
Franz, Bryan; Messner, John	Evaluating the Impact of BIM on Project Performance	2017	5	2		x			x	x				x		x	
Franz, Bryan; Messner, John	Evaluating the Impact of BIM on Project Performance	2019	2	2		x			x	x				x		x	
Furneaux, Craig; Kivvits, Robbie	BIM – implications for government	2008	5	4			x		x								

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Gerbert, Philipp; Castagnino, Santiago; Rothballer, Christoph; Renz, Andreas; Filitz, Rainer	Digital in Engineering and Construction	2016	5	2		x		x	x								
Gerges, Michael; Ahiakwo, Ograbe; Jaeger, Martin; Asaad, Ahmad	BIM and Its Application in the State of Kuwait	2016	2	1					x								
Giel, Brittany Kathleen	Return on Investment Analysis of BIM in Construction	2009	4	2								x					
Giel, Brittany Kathleen; Issa, Raja Raymond	BIM Return on Investment: A Case Study	2011	2	2+3		x		x				x					
Giel, Brittany Kathleen; Issa, Raja Raymond	Return on Investment Analysis of Using BIM in Construction	2013	2	2+3		x		x				x					
Giel, Brittany Kathleen; Issa, Raja Raymond; Olbina, S.	Return on investment analysis of BIM in construction	2010	1	2								x					
Gilligan, Brian; Kunz, John	VDC use in 2007: Significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity	2007	5	1					x				x				x
Golinski, Ralf Stefan	Ergebnisse der BIM-Umfrage bei Teilnehmern der BIM World MUNICH 2018	2018	5	1	x				x								
Hahn, Phillip	Nutzen- und Kostenanalyse der BIM-Methode in der Planung von Bauleistungen	2014	4	4	x			x	x								
Ham, Namhyuk; Moon, Sungkon; Kim, Ju-Hyung; Kim, Jae-Jun	Economic Analysis of Design Errors in BIM-Based High-Rise Construction Projects: Case Study of Haeundae L Project	2018	2	2				x	x								

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Hamilton, Timothy Leighton	BIM deployment: a process to adopt and implement a disruptive technology	2012	4	2					x								
Harris, Mohd.; Ismail, Elias; Hussain, Afifudin Husairi	Business value of BIM in Malaysia's AEC industry: Preliminary findings	2015	2	1								x	x				
Hergunsel, Mehmet	Benefits of BIM for Construction Managers	2011	4	2				x	x								
Hisham, Said; Justin, Reginato	Identifying BIM related costs due to changes	2016	5	1				x	x								
Hoffer, Erin Rae	Erzielen des strategischen ROI	2018	5	1	x	x		x				x					
Huang, Chien-Hsun; Hsieh, Shang-Hsien	A Case Study on Assessing the Productivity of a BIM team in a Construction Company	2015	1	2+3		x	x		x					x		x	
Ismail, Noor Akmal Adillah; Idris, nur Hidayah; Ramli, Hazwani et al.	The relationship between cost estimates reliability and BIM adoption: SEM analysis	2017	1	1					x								
Kelly, David J.; Ilozor, Benedict D.	BIM and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study	2012	2	4					x								
Koo, Bonsang; Fischer, Martin	Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction	1998	5	4			x		x								
Koo, Bonsang; Fischer, Martin	Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction	2000	2	4			x		x								
Koo, Bonsang; Shin, Byungjin; Lee, Ghang	A cost-plus estimating framework for BIM related design and engineering services	2017	2	2		x	x	x									

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Korn, Michael; Teizer, Klaus; Obhof, Laura	Effizienzvergleich der BIM-basierten Arbeitsweise mit der klassischen Kalkulations- und Ausschreibungsmethode	2016	1	2	x	x	x		x								
Kreider, Ralph; Messner, John; Dubler, Craig	Determining the frequency and impact of applying bim for different purposes on projects	2013	5	1		x			x					x			
Lahdou, Rim; Zetterman, David	BIM for Project Managers	2011	4	1					x								
Lee, Ghang; Park, Harrison Kwangho; Won, Jongsung	D3 City project — Economic impact of BIM-assisted design validation	2012	2	2					x			x					
LeFevre, Michael	No BIM for You: The Case for Not Doing BIM - Leverage Points, Reframing and Key Decision Factors in BIM Transformation	2011	2	2		x		x	x								
Li, Jian; Hou, Lei; Wang, Xiangyu; Wang, Jun; Guo, Jun; Zhang, Shaohua; Jiao, Yi	A Project-Based Quantification of BIM Benefits	2014	2	2				x	x								
Love, Peter E. D.; Simpson, Ian; Hill, Andrew; Standing, Craig	From justification to evaluation: BIM for asset owners	2013	2	3				x	x								
Love, Peter E.D.; Matthews, Jane; Simpson, Ian; Hill, Andrew; Olatunji, Oluwole Alfred	A benefits realization management BIM framework for asset owners	2014	2	3				x	x								

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Lu, Weisheng; Fung, Ada; Peng, Yi; Liang, Cong; Rowlinson, Steve	Cost-benefit analysis of BIM implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves	2014	2	2+3		x	x	x	x								
Lu, Weisheng; Liang, Cong; Fung, Ada; Rowlinson, Steve	Demystifying the time-effort distribution curves in construction projects: A BIM and non-BIM Comparison	2014	1	2+3		x	x	x	x								
Maccarini, Naiá Mendes	Standardisierung und Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der Leistungsmeldung in Bauunternehmen mit Hilfe von BIM	2018	4	2	x		x		x								
Mansson, Daniel W; Sanchez, Adriana X; Hampson, Keith D; Lindahl, Göran	Assessing BIM performance through self-assessed benchmarking	2016	1	3					x	x							
May, Ilka	BIM-Strategie Deutschland (Skizze)	2014	5	4	x	x		x	x			x			x		
McConnell, Christopher C.	Cost Benefit Analysis of Implementing BIM for Construction Management of the Sports Arena of University of Alaska Anchorage	2014	4	2				x	x								
McGraw-Hill Construction	BIM - Transforming Design and Construction to Achieve Greater Industry Productivity	2008	5	1+2				x	x			x					
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM in Europe	2010	5	1+2				x	x			x	x				

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology	2012	5	1+2				x	x			x	x				
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM in North America	2012	5	1+2				x	x			x	x				
McGraw-Hill Construction	Der unternehmerische Vorteil von BIM im Bauwesen in großen Weltmärkten	2014	5	1+2	x	x		x	x			x					
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM for Owners	2014	5	1+2				x	x			x	x				
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets	2014	5	1+2				x	x			x	x				
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM in Australia and New Zealand	2014	5	1+2				x	x			x	x				
McGraw-Hill Construction	The Business Value of BIM in China	2015	5	1+2				x	x			x	x				
Neelamkavil, J.; Ahamed, S. S.	The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction	2012	5	2								x					
Niederdrenk, Ralph; Seemann, Ralph	Baubranche aktuell	2018	5	1	x				x								
Nisbet, Nick; Dinesen, Betzy	Constructing the business case - BIM	2010	3	2		x		x	x								
Olatunji, Oluwole Alfred	Modelling the cost of corporate implementation of BIM	2011	2	2+3				x							x		
Olatunji, Oluwole Alfred; Sher, Willy; Ning, Gu; Ogunsemi, D R	Building Information Modelling Processes: Benefits for Construction Industry	2010	1	4					x								
Poirier, Erik; Staub-French, Sheryl; Forgues, Daniel	Measuring the impact of BIM on labor productivity	2015	2	2+3		x	x		x							x	

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Pricewaterhouse-Coopers	Digitalisierung der deutschen Bauindustrie	2019	5	1	x		x		x								
Qian, Ang Yu	Benefits and ROI of BIM for multi-disciplinary project management	2012	4	2+3				x	x			x			x		
Reddy, K. Pramod	BIM for building owners and developers	2012	3	2								x					
Reichle, Johannes	Anwendungspotentiale von BIM im Bauprozessmanagement	2018	4	1	x				x		x			x			
Reizgevičius, Marius; Ustinovičius, Leonas; Cibulskienė, Diana; Kutut, Vladislavas; Nazarko, Lukasz	Promoting Sustainability through Investment in BIM Technologies: A Design Company Perspective	2018	2	2								x					
Ruoyu, Jin; Matthew, Hancock Craig; Llewellyn, Tang; Wanatowski, Dariusz	BIM Investment, Returns, and Risks in China's AEC Industries	2017	2	1				x	x								
Sackey, E; Tuuli, M; Dainty, A	BIM Implementation: From Capability Maturity Models to Implementation Strategy	2013	1	4											x		x
Sacks, Rafael; Eastman, Charles M.; Lee, Ghang; Teicholz, Paul M.	BIM handbook	2018	3	2		x	x		x							x	x
Salih, Sen	The Impact of BIM/VDC on ROI: Developing a Financial Model for Savings and ROI Calculation of Construction Projects	2012	4	2+3								x					
Sanchez, Adriana X.; Hampson, Keith D.; Mohamed, Sherif	Delivering Value with BIM: A Framework for Built Environment Practitioners	2016	1	3		x			x				x				

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Sanchez, Adriana X.; Kraatz, Judy A.; Hampson, Keith D.	BIM for Sustainable Whole-of-life Transport Infrastructure Asset Management	2014	1	4		x			x								
Sanchez, Adriana X; Hampson, Keith D; Vaux, Simon	Delivering Value with BIM	2016	3	4		x			x				x				
Schilling Miguel, Daniel	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von BIM aus Bauunternehmersicht im Rahmen der Angebotsphase von Bauprojekten	2017	4	2	x			x	x								
Schober, Kai Stefan; Hoff, Philipp; Lecat, Ambroise; de Thieulloy, Georges; Siepen, Sven	Turning point for the construction industry	2017	5	1		x			x								
Schober, Kai-Stefan	BIM – Bauindustrie im digitalen Umbruch	2018	2	4	x				x								
Schwerdtner, Patrick	Nutzung von BIM in der Angebotsbearbeitung	2018	2	4	x	x			x								
Sebastian, Rizal; van Berlo, Léon	Tool for Benchmarking BIM Performance of Design, Engineering and Construction Firms in The Netherlands	2010	2	4		x			x	x						x	x
Shin, Min Ho; Lee, Hye Kyung; Kim, Hwan Yong	Benefit–Cost Analysis of BIM in a Railway Site	2018	2	2		x		x	x								
Stowe, Ken; Zhang, Sijie; Teizer, Jochen; Jaselskis, Edward J.	Capturing the Return on Investment of All-In BIM: Structured Approach	2015	2	2		x			x								
Suermann, Patrick C	Evaluating the impact of BIM on construction	2009	4	1+2		x			x							x	

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Suermann, Patrick C; Issa, Raja Raymond	Evaluating industry perceptions of BIM impact on construction	2009	2	1		x			x								
van Zandvoort, Roy	Quantifying the added value of Building Information Modelling in infrastructure projects	2015	4	4					x				x	x			x
Vass, Susanna	The Perceived Business Value of BIM: Results from an International Survey	2016	5	1		x			x				x				
Vass, Susanna	A Proposed BIM Business Value Model	2014	1	3					x				x				
Vass, Susanna	The Business Value of BIM	2017	4	1+2		x			x				x				
Vass, Susanna; Karrbom Gustavsson, T	The perceived business value of BIM	2014	1	1					x				x				
von Both, Petra	BIM Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan	2012	5	1	x	x			x		x						
Walasek, Dariusz; Barszcz, Arkadiusz	Analysis of the Adoption Rate of BIM and its ROI	2017	2	2								x			x		
Wang, Guangbin; Song, Jiule	The relation of perceived benefits and organizational supports to user satisfaction with BIM	2017	2	1		x			x								
Whang, Seoung-wook; Sang Min, Park	BIM for Project Value: Quantity Take-Off of Building Frame Approach	2016	2	2		x			x				x				
Wilkinson, Sara Jana; Jupp, Julie R	Exploring the value of BIM for corporate Real estate	2016	2	1					x				x				
Won, Jongsung; Ghang, Lee	How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach	2016	2	2+3		x	x	x	x			x		x		x	

Autor/Herausgeber	Titel	Jahr	Dok.-Typ	Kategorie	Deutsch?	In Arbeit?	Aufwand	Kosten	Nutzen	Performance	Potenzial	ROI	Value	Anwendungsfall	Implementierung	Messen	Reifegrad
Wu, Wei; Issa, Raja Raymond	Impacts of BIM on talent Acquisition in the Construction Industry	2011	1	1					x			x					
Wu, Weidong; Ren, Chuxuan; Wang, Yuhong; Liu, Ting; Li, Ling	DEA-Based Performance Evaluation System for Construction Enterprises Based on BIM Technology	2018	2	2				x	x	x							
Zentralverband Deutsches Baugewerbe	Einführung von BIM im Bauunternehmen	2017	5	4	x	x		x	x					x	x	x	
Zhang, Limao; Wen, Ming; Ashuri, Baabak	BIM Log Mining: Measuring Design Productivity	2018	2	2		x	x		x							x	

Anhang C
Auszug Umfrageergebnisse

Im September 2017 wurde eine Online-Umfrage zur Erfassung von BIM-Anwendungsfällen durchgeführt. Dazu wurde eine Einladung zur Teilnahme an 781 Personen per E-Mail versendet. Zusätzlich wurde die Umfrage in den einzelnen Unternehmen intern weitergeleitet und auf der Plattform BIM-Events.de geteilt. Wie viele der ursprünglich Angeschriebenen an der Erhebung teilgenommen haben, kann daher nicht gesagt werden. Letztendlich nahmen an der Umfrage 313 Personen teil, von denen 176 Teilnehmer die Umfrage vollständig beendeten. Teile der Ergebnisse wurden bereits in *Deubel et al.* (2018) vorab veröffentlicht.

Bisher unveröffentlicht sind konkrete Aussagen der Umfrageteilnehmer zum Potenzial einer standardisierten und detaillierten Übersicht von AWF. Rechtschreibfehler wurden nachträglich behoben.

Antwort-ID	Überwiegend tätig in?	Welches Potential sehen Sie in einer standardisierten, detaillierten Übersicht von BIM-Anwendungsfällen?
38454642	(Bau-)Zulieferer	Ich denke, dass Firmen wie z. B. Produkthersteller, welche nur am Rande mit dem Thema BIM konfrontiert sind und quasi Service Provider für BIM Dienstleistungen sind würden anfangs stark von einer use case Übersicht profitieren. Planer usw. würden ebenfalls profitieren. Für diese sollte aber die Möglichkeit bestehen, diese Anwendungsfälle Ihren Bedürfnissen entsprechend zu modifizieren.
38000660	Andere	Argumentationshilfe in der Leistungsbeschreibung
38329217	Andere	Haben wir schon im Unternehmen
38331379	Andere	Geht am Thema vorbei, standardisierte Abläufe wird es im Planungs- und Bauprozess so nicht geben, einzelne Definitionen sind hilfreich, müssen jedoch wie jede Software, jeder Projektraum, jedes CAD, etc. individuell eingerichtet werden.; Schön wenn es wenigsten ein zentrales BIM Modell geben könnte !!
38338518	Andere	Die Anwendungsfälle müssten entsprechend der Anforderungen klassifiziert sein.
37949846	Bauausführung	Hohes Potential. Es ist wichtig, vor allem im Hinblick auf einen Big-Open-BIM-Workflow, dass alle Projektbeteiligten die gleiche Informationsbasis für ihre Arbeitsweise besitzen. Dafür könnten sich BIM-Anwendungsfälle zielführend auswirken.

Antwort -ID	Überwiegend tätig in?	Welches Potential sehen Sie in einer standardisierten, detaillierten Übersicht von BIM-Anwendungsfällen?
37953308	Bauausführung	Klare Leistungsdefinition für alle Beteiligte
37956034	Bauausführung	Standardisierung der zugrunde liegenden Prozesse und Informationsflüsse; Einheitliches Verständnis bzgl. BIM-Leistungen.
38014246	Bauausführung	Eine Standardisierung von Anwendungsfällen kann auch zu Missverständnissen führen. Es ist jeweils zu klären ob Beteiligte dasselbe Verständnis eines Anwendungsfalls haben. Bsp. Mengenermittlung - in m^2 oder m^3? Zweck des Anwendungsfalls Mengenermittlung - Kalkulation? Prozesse müssen projektspezifisch im Rahmen der Abwicklungsplanung definiert werden. Eine unternehmensinterne Standardisierung ist eventuell praxisnaher als eine deutschlandweite.
38329502	Bauausführung	Das wird die Zukunft auch im Bauen sein! (Bau-)Prozesse werden standardisiert und durchlaufen alle Phasen von der Idee/Bedarf bis zum Abbruch nach der Lebensphase des Projektes. Für uns als Baufirma liegt der Vorteil in der Verwendung aller Daten/Informationen vom Handwerker bis zur Geschäftsführungsebene
37949586	Bauherr	Weniger Interpretationsspielraum für alle Projektbeteiligte. BIM-Leistungen könnten klar definiert und umgesetzt werden
37950251	Bauherr	Sehr hoch
37964827	Bauherr	Es sprechen alle dieselbe Sprache; Es kann sich ein Standard entwickeln, der die Anwendungsfälle den Leistungsphase zuordnet; Es kann Anforderungsmanagement betrieben werden; Allerdings - Es darf natürlich nicht mehrere Standards geben; Es muss der Ansatz bestehen bleiben, das Anwendungsfälle projektspezifisch sind und auch großer Raum bei der "Erfindung" neuer Anwendungsfälle bleiben
38019170	Bauherr	Eine entsprechende Übersicht kann die Kommunikation zwischen Projektbeteiligten, welche Anwendungsfälle für das Projekt vorgegeben sind und welche Anwendungsfälle gegebenenfalls von einzelnen Projektbeteiligten bürointern gewünscht werden, unterstützen; Langfristig könnte eine entsprechende Übersicht - sehr anschaulich - dazu beitragen ein allgemeines BIM-Verständnis jenseits "der eierlegenden Wollmilchsau" zu entwickeln und zu etablieren. Das noch unklare und teilweise kontroverse Bild von der BIM-Methode in Deutschland führt teilweise zu sehr hohen Erwartungshaltungen an die Methode und die Anwender - sowohl zum derzeitigen Zeitpunkt als auch nach "Leistungsniveau 2" des Stufenplans des BMVIs.
38147937	Bauherr	Bessere Auswertbarkeit und Vergleichbarkeit der Projekte durch Algorithmen; besseres Verständnis der eigenen Arbeiten und der von anderen Gewerken
38360467	Bauherr	Prozessverbesserung Projektprozess, Strukturierung, Aufgabenzuordnung,
38455535	Bauherr	Öffentlichen Auftraggebern den BIM-Einstieg und weiter die Verwendung zu erleichtern!
37949471	BIM-Beratung	High level ist gut, siehe Penn State Definition, jedoch ist die Anwendung im Detail in jeder Firma/ Unternehmen/Planungsbüro unterschiedlich

Antwort -ID	Überwiegend tätig in?	Welches Potential sehen Sie in einer standardisierten, detaillierten Übersicht von BIM-Anwendungsfällen?
37949338	BIM-Beratung	Es ist dahingehend Potenzial vorhanden, dass eine standardisierte Übersicht zu einem besseren Projektverständnis führen kann. Eine detaillierte Beschreibung der Anwendungsfälle ist jedoch nicht notwendig oder gar hinderlich, sobald es die internen Prozesse eines Auftragnehmers beeinflusst.
38337360	BIM-Beratung	Großes, wenn diese an die IDMs von BSI angelegt werden.
38373628	BIM-Beratung	Deutliche Verbesserung der Zusammenarbeit aller Projekte Beteiligten, klare und eindeutige Aufgabenstellungen, Verbesserung der Schnittstellen
38377389	BIM-Beratung	Eine Ablöse der äußerst schwammigen BIM-Level 0-3 Einordnung; Klarere Strukturen und Wording bei Implementierungsvorhaben und der Erzeugung von AIAs; Erleichterte BIM Abwicklungsplanung
37957039	Fachplanung	Wenig, da diese genau definiert werden müssen.
37996596	Fachplanung	Keinen direkten. Projekte sind zu differenziert um spezifisches Anwendungen zu standardisieren. Diese können lediglich als grober Richtschnur für die Anwendung und das zu erwartende Endprodukt dienen.
38456649	Fachplanung	Es ist wichtig, dass Auftraggeber und Auftragnehmer sich einig werden können darüber, was Grundleistung ist und was extra kostet. Dafür muss klar sein, was der AG überhaupt haben möchte und was der AN technisch liefern kann ohne die Beauftragung von Dritten.
37949210	Forschung / Lehre	Generell bin ich absolut für Standards, jedoch scheitert der Ansatz oft an privatwirtschaftlichen Interessen, die "Ihren" Standard durchdrücken wollen.
37953589	Forschung / Lehre	Korrekte und konkrete Honorarermittlung im Falle des Einsatzes von BIM als besondere Leistung.
37949640	Forschung / Lehre	Knackpunkte frühzeitig zu erkennen und zu beachten! z. B.: bei langen linearen Bauwerken wie vor allem Basistunnels versagt der geometrische Anteil eines BIM komplett, da im Maßstab 1:1 und kartesischem 3d Koordinatensystem geplant wird. Die Absteckung muss jedoch im Landeskoordinatensystem oder einem wohlüberlegten Projektkoordinatensystem nach Lage (Korrekturfaktoren wegen mittlerer Höhe und Projektionsverzerrung) und Höhe (Korrekturen wegen Erdkrümmung und Bezugsflächendifferenz Ellipsoid-Geoid) erfolgen. Das muss vorher prinzipielle eingesehen werden und zwischen den Bauingenieuren und Vermessungsingenieuren einvernehmlich gelöst werden. Die Einflüsse sind namhaft, wie die Untersuchung einiger europäischer Tunnelgroßprojekte gezeigt hat.
37950076	Objektplanung	..., dass alle Beteiligten das gleiche Grundverständnis haben
37951117	Objektplanung	Eher wenig, da durch die Projektspezifika neben wiederkehrenden AWF auch projektspezifische AWF auftreten.
37955330	Objektplanung	Was soll das sein? Ein Algorithmus der Planung?; Wenn Fluchtweglänge, dann Solibri?

Antwort -ID	Überwiegend tätig in?	Welches Potential sehen Sie in einer standardisierten, detaillierten Übersicht von BIM-Anwendungsfällen?
37977778	Objekt-planung	standardisierte BIM-Anwendungsfälle sind nur bedingt hilfreich. Eher sollte man vielleicht von Prinzipien sprechen, die für bestimmte Anwendungsfälle eingehalten werden sollten. Es wird erforderlich sein, auch die wesentlichen, häufig auftretenden Anwendungsfälle projektspezifisch anzupassen. Darüber hinaus gibt es Anwendungsfälle, die nicht regelmäßig erforderlich und nicht bei jedem Projekt erforderlich sind.; Im Übrigen wären standardisierte BIM-Anwendungsfälle zunächst die Datenstrukturen und -Inhalte eindeutig im Branchenkonsens zu klären. Vorher wird eine Standardisierung nicht sinnvoll möglich sein.
38000098	Objekt-planung	Schaffung eines einheitlichen Verständnissen.
37998178	Objekt-planung	Detaillierte Anwendungsfälle erleichtern das Grundverständnis von BIM. Sie bieten eine Grundlage für die Zusammenarbeit mit anderen.
37991721	Objekt-planung	Verbesserte Ausschreibungsunterlagen; Verbesserte Abstimmung zwischen AG und AN bzgl. der zu erbringenden BIM-Leistungen; Verbesserte Umsetzung der BIM-Leistungen
38025299	Objekt-planung	Einheitlichkeit der Formulierung, Standardisierung der Bausteine gem. DIN BIM AK 01
37989178	Projekt-steuerung	Die Erarbeitung von Richtlinien, Normen und Standards sowie die Visualisierung von Prozessen ist ein wichtiger Schritt für eine flächendeckende Umsetzung der BIM-Methode. Eine Übersicht des Gesamtkontext von BIM-Anwendungsfällen ist relevant für die Bildung gemeinsamen Verständnisses von BIM.
38113382	Projekt-steuerung	Gleiches Verständnis und gleiche Erwartungen der zu erbringenden Leistung
38151000	Projekt-steuerung	Gleiches Verständnis; Aktuell abweichende Beschreibungen für ähnliche Anwendungsfälle in Projekten
37988826	Soft-wareher-steller	Vorteile sehe ich für schnellere Prognosen und Strukturierung bei der Verwaltung von projektbezogenen Daten, was wiederum zu einer besseren Kommunikation beitragen kann.
38151833	Soft-wareher-steller	Katalogschema, das gerade unerfahreneren Firmen den BIM-Einstieg erleichtern wird !
38342048	Soft-wareher-steller	Allgemeine Zustimmung von allen Beteiligten - weniger Stress für alle.
37949563	Sonstige Behörden	Darstellung der Potentiale der Digitalisierung gegenüber Bauherren. ; Grundlage für eine Abschätzung von Vergütung oder Honorar.
37949124	Sonstige Beratung	Vereinfacht für Rechtsberater die Ausschreibung der BIM-Leistung

Anhang D
Steckbriefe der AWF

Auf den folgenden Seiten finden sich die Steckbriefe der einzelnen AWF in fortlaufender Nummerierung. Jeder der 36 Steckbriefe befindet sich auf einer Doppelseite. Die einzelnen Bestandteile der Steckbriefe werden in den entsprechenden Kapiteln der Arbeit erklärt. Die Informationen finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Kurzbeschreibung sowie Zuordnung zu Rollen und Phasen in Kapitel 5.3, Darstellung in Tabelle 22.
- Input- und Output AWF in Kapitel 7.1.2, Darstellung in Tabelle 26.
- Implementierungsaufwand, Anwendungsaufwand, Nutzen, Indikatoren und Metriken in Kapitel 7.1.3, Darstellung in Tabelle 28.
- Orientierungswerte in Kapitel 7.1.4, Darstellung in Tabelle 29 und Tabelle 30.

Bezeichnung	**Nr. 1 Abrechnung von Leistungen**
Nutzung der objektbasierten Mengen, Fertigstellungsmeldungen aus Baudokumentation und Daten aus Baufortschrittskontrolle zur Abrechnung der erbrachten Leistungen. Ermöglicht modellbasiertes Abrechnen von Beratungs-, Planungs-, Bau- und Betriebsleistungen.	

Rollen / **Phasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung	N			A	A	
Projektbetrieb	N					A

Input-AWF	**Output-AWF**
Änderungsmanagement As-Built-Modellierung Ausschreibung und Vergabe Baudokumentation Baufortschrittskontrolle Facility Management Kostenermittlung (5D Planung) Mengenermittlung Nachtrags- und Mängelmanagement	Objektdokumentation

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
AG muss in den AIA die für Abrechnung benötigten Modelldaten definieren. AG muss ggfs. vorhandene Prüfprogramme erweitern, die neben Richtigkeit der vorhandenen Teilformate auch die korrekte Verknüpfung zum Objektmodell darstellen. Bereits vorhandene digitale Verfahren bei den AN sind erweiterten Vorgaben des AG anzupassen. (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 56). Ggfs. sind entsprechende Schulungen notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])	
Prüfung mit den angepassten Prüfprogrammen. Wenn AG und AN mit denselben Datenmodellen im Planungsprozess bis zur Abrechnung arbeiten, reduziert sich Aufwand der Datenbearbeitung durch Vermeidung von wiederholten Eingaben erheblich. (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 56)	
Nutzen	
Vereinfachtes und beschleunigtes Prüfverfahren für AG Verbesserter Zahlungsfluss für AN	

Indikatoren	**Metriken**
Bearbeitungsdauer 1	Dauer zwischen Fertigstellung Leistung und Eingang Rechnung
Bearbeitungsdauer 2	Dauer zwischen Eingang Rechnung und Eingang Bezahlung
Fehler	Anzahl abgelehnter Rechnungen/Anzahl alle Rechnungen

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,73
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,33
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,73
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,70

Bezeichnung	**Nr. 2 Änderungsmanagement**
Dokumentation, Nachverfolgung und Freigabe von Planungsänderungen (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 54).	

Rollen / **Phasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung	N	A	A	N	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Baudokumentation Baufortschrittskontrolle Modellierung (3D Planung)	Abrechnung von Leistungen Kostenermittlung (5D Planung)

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Prozesse/Vorgehensweisen sind festzulegen und geeignete Softwaresysteme (gemeinsame Datenumgebung) mit Unterstützung der Nachverfolgung von Änderungen einzuführen. Zur effizienten Nutzung dieser Systeme sind i.d.R. Schulungen erforderlich. (Vgl. *BIM4Infra2020*, 2018,

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Digitalisierung des Änderungsprozesses vermindert Aufwände für die Beteiligten, da Einbindung von 3D-Modellen eine strukturierte Dokumentationsgrundlage bildet. (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 54). Die entsprechenden Änderungen sind modellbasiert zu dokumentieren.

Nutzen

Durchgängige Nachverfolgung und Dokumentation von Änderungen
Vermeidung von Verzögerungen wegen fehlender Informationen

Indikatoren	Metriken
Änderungsaufträge	Anzahl der Planänderungen
Änderungsdauer	Anzahl der zusätzlichen Projekttage aufgrund von Änderungen
Änderungskosten	Kumulierte Kosten der Änderungsaufträge oder Kosten pro Änderungsauftrag
Informationsanfragen	Anzahl der RFI

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,30
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,77
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,78

Bezeichnung	**Nr. 3 Arbeits-/Gesundheitsschutz**

Identifizieren von Gefahren durch Sturz, Brand, Verkehr usw. während der Bauausführung sowie des Betriebs und Instandhaltung. Entwicklung eines Sicherheitskonzepts zum Schutz der Arbeitnehmer. Beinhaltet beispielsweise Fluchtwege, Sperrzonen, Bewegungsräume und Analyse der Auswirkungen temporärer Bauzustände.

Rollen / **Phasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung				A		
Projektbetrieb						N

Input-AWF	**Output-AWF**
Baustellenkoordination	Facility Management
Bauablaufplanung (4D-Planung)	Regelprüfung
Modellierung (3D Planung)	
Fachplanung	

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung mobiler Technologien auf der Baustelle zur Feststellung von Abweichungen. Zur Anwendung können zusätzliche Schulungsaufwände entstehen. (Vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 41)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Integration der SiGeKo-Anforderungen unter Berücksichtigung der Bauablaufplanung (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 42). Zusätzlich werden Steuerungsmaßnahmen und Anpassungen bei festgestellten Abweichungen notwendig.

Nutzen

Erhöhung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes
Verbesserte Kommunikation sicherheitsrelevanter Aspekte
Vereinfachung der Dokumentations- und Kontrollprozesse

Indikatoren	**Metriken**
Kosten	Prozentuale Kosten für Arbeits- und Gesundheitsschutz zu Gesamtprojektkosten
Sicherheit	Gesamtausfallzeit oder Durchschnitt pro Person differenziert nach Erste-Hilfe-Fall, Unfall mit ärztlicher Behandlung oder Beinaheunfall (absolut oder relativ zu Gesamtprojektstunden)
Zufriedenheit	Fehlzeiten der Mitarbeiter oder Abfrage der Mitarbeitermotivation

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,43
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,57
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 4 As-Built Modellierung**

Während der Bauausführung wird das Bauwerksdatenmodell kontinuierlich auf den gebauten Stand aktualisiert. Nach Abschluss der Ausführung kann das Modell mit dem Bauwerk z. B. über einen Laserscan abgeglichen und angepasst werden. Es werden Plandokumente, Bauwerks- und Baustellendokumentation mit dem As-Built-Modell verknüpft. Es enthält damit detaillierte Informationen zur Ausführung, Materialien und Ausstattung. Die digitale Bauwerksakte dient als Grundlage für das Betreibermodell (vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 2).

Rollen / **Phasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung	N	A	A	A		
Projektbetrieb						N

Input-AWF	**Output-AWF**
Baudokumentation	Abrechnung von Leistungen
Bestandserfassung	Asset Management
Modellierung (3D Planung)	Facility Management
Planerstellung und -freigabe	Flächenmanagement
	Katastrophenmanagement
	Nachtrags- und Mängelmanagement
	Objektdokumentation
	Rückbau

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Festlegung von Vorgaben und Richtlinien für die geplante Weiterverwendung des As-Built-Modells und Definition der Anforderungen an dieses (vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 37).

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Fortschreibung der Modelldaten bei Änderungen und Einarbeitung der AG-seitigen Anforderungen an das As-Built-Modell.
Nutzen
Durchführung von Soll-/Ist-Abgleichen Verbesserte Auffindbarkeit von Informationen durch Verknüpfung mit Modellobjekten

Indikatoren	**Metriken**
Dauer	Anzahl der Arbeitsstunden zur Erstellung des As-Built-Modells als Konsequenz aus Abweichungen auf der Baustelle zum Planungsmodell
Genauigkeit	Abweichungen (z. B. Kosten oder Termine) zwischen Soll (Planung) und Ist (As-Built)
Modellkonsistenz	Anzahl der Modelle mit Konflikten bzw. Anzahl der Nacharbeitungen.
Nacharbeitungsumfang	Zeitaufwand der Mitarbeiter für die Behebung von Problemen
Zufriedenheit	Abfrage der Kundenzufriedenheit bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,77
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,50
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,87
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,72
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,28
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 5 Asset Management**
Verknüpfung des Bauwerkdatenmodells mit Asset Management System, um den Betrieb und die Instandhaltung effizient zu gestalten und den Wert des Bauwerks weiter zu entwickeln (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 51). Ermöglicht den Vergleich zwischen verschiedenen Betriebsszenarien und unterstützt die Entscheidungsfindung der kurz bis langfristigen Planung durch finanzielle Vergleichsbetrachtungen.	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
As-Built Modellierung Objektdokumentation	Facility Management Rückbau

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung geeigneter Software zur Planung und Steuerung des Betriebs von Anlagen und Gebäuden sowie Schulung in der Anwendung, um Informationen aus Bauwerksmodellen verknüpfen zu können.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Informationen aus Bauwerksmodellen entsprechend den Anforderungen der Betriebssoftware aufbereiten, damit verknüpfen und anwenden.

Nutzen

Besser Daten- und Informationserfassung
Höhere Wertbeständigkeit
Personaleinsparungen im Asset Management
Gesteigerte Wettbewerbsvorteile

Indikatoren	Metriken
Genauigkeit	Abweichungen (z. B. Medienverbräuche) zwischen Soll (As-Built) und Ist (Betrieb)
Marktzugang	Zeitaufwand für die Erteilung des Auftrags
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,62
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,96
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 6 Ausschreibung und Vergabe**

Aufstellung der Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnissen. Verknüpfung der modellbasierten Mengen mit den Leistungspositionen der Ausschreibungsunterlagen aus dem Modell (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 46). Es erfolgt ein digitaler Angebotsvergleich und Vergabeverhandlungen mit anschließender Auftragserteilung.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung	N			N		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Genehmigungsplanung Kostenermittlung (5D Planung) Mengenermittlung Modellierung (3D Planung) Planerstellung und -freigabe	Abrechnung von Leistungen Nachtrags- und Mängelmanagement

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Erstellung und Prüfung der LV-Verknüpfungen. Bei Bedarf sind entsprechende Schulungen notwendig. (Vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 47).

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erstellung und Prüfung der LV-Verknüpfungen. Dazu müssen Modellobjekte in entsprechender Detaillierung erstellt werden. Abhängig von der Software entsteht zusätzlicher Aufwand, wenn VOB-konforme Mengenermittlung notwendig ist und die Software diese Vereinfachungen nicht automatisch berechnet. (Vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 47)

Nutzen
Erhöhte Prüfbarkeit und Transparenz von LV-Positionen durch Verknüpfung mit Modellobjekten Reduzierter Aufwand für bzw. teils automatische LV-Erstellung durch Verknüpfung mit Modellobjekten

Indikatoren	**Metriken**
Informationsanfrage	Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder
Kosten pro Einheit	Personalkosten für die Erstellung der Ausschreibung
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes (absolut oder relativ zu den Gesamtprojektkosten)
Wissensmanagement	Anzahl oder Einsparhöhe von Verbesserungsvorschlägen der Mitarbeiter

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,70
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,30
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,87
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,74

Bezeichnung	**Nr. 7 Automatisierung**
Nutzung der Echtzeitinformationen zur automatischen Überwachung und Steuerung der z. B. TGA (Heizung, Lüftung, Einlass usw.) eines Bauwerks.	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauwerksanalyse Katastrophenmanagement	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Hinterlegung entsprechender Informationen in Gebäudedatenmodellen und ggfs. Schulungen zur Vorgehensweise.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Beschreibung von Soll-Werten in den Gebäudedatenmodellen und Verknüpfung mit Ist-Werten von Sensoren o. ä. sowie Definition von entsprechenden Regeln bei Abweichungen.

Nutzen

Automatisierte Steuerung oder Hinweise
Verbesserte Gebäudeperformance
Weniger Fehler durch Fehlbedienung oder Vergessen

Indikatoren	**Metriken**
Genauigkeit	Gesamtzahl der Fehler, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase
Leerlaufzeit	Leerlaufzeit von Maschinen oder Bereitschaftszeit der Mitarbeiter
Produktionsgeschwindigkeit	Fertiggestellte Bruttogeschossfläche (m²) pro Bauzeit (Tag, Woche etc.)
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,68

Bezeichnung	**Nr. 8 Bauablaufplanung (4D Planung)**
Die Objekte eines geometrischen 3D Modells werden mit Zeitinformationen angereichert und den Vorgängen eines Terminplans zugeordnet. Mit dem 4D-Modell wird der Terminplan erstellt und der Bauablauf simuliert (vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 2).	

Rollen **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung	N			A	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Modellierung (3D Planung)	Arbeits- und Gesundheitsschutz Baufortschrittskontrolle Baugerätesteuerung und -verwal- Baustellenkoordination Entwurfsbewertung Gewerkekoordination Kostenermittlung (5D Planung) Ressourcenplanung Visualisierung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Notwendigkeit zur Einführung von Softwarewerkzeugen zur Verknüpfung der Modelldaten mit Terminplan (4D-Software) zur Erstellung, Visualisierung und Prüfung von 4D-Modellen. Schulungsaufwand nach Bedarf. (Vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 48)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Erstellung oder Aktualisierung von 4D-Modellen auf Basis bestehender Gebäudedatenmodelle. Ggfs. zusätzliche Anpassungen an bestehenden Modellen notwendig.

Nutzen	
Lückenloser Terminplan und erhöhte Terminsicherheit Besseres Verständnis der Bauabläufe durch Visualisierung Optimierung der Bauabläufe Verbesserte Kommunikation	

Indikatoren	**Metriken**
Änderungskosten	Kumulierte Kosten der Änderungsaufträge oder durchschnittliche Änderungskosten pro Änderungsauftrag
Gesamtdauer	Verhältnis von Soll-Bauzeit zu Ist-Bauzeit
Konflikte	Anzahl an Nachträgen oder Kosten an Nachträgen aufgrund Terminänderungen
RFI	Gesamtanzahl der RFI Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase Kosten der RFI (gesamt oder pro Stück) Bearbeitungsdauer der RFI
Kosten pro Einheit	Stückkosten (Gesamtkosten pro Mengeneinheit z. B. m² BGF) Materialkosten pro Mengeneinheit Personalkosten pro Mengeneinheit
Wartezeit	Entscheidungslatenzzeit (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,30
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,77
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,79
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,30
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,73

Bezeichnung	**Nr. 9 Baudokumentation**

Führen eines digitalen Bautagebuchs über mobile Endgeräte, Erstellen des Aufmaßes z. B. durch Laserscans und geometrischer Mengenabgleich in den Modellen, Leistungserfassung auf der Baustelle mit vernetzter Maschinensteuerung. Direkte Übertragung der Daten in die Modelle und automatische Erstellung von Fertigstellungsmeldungen, sowie Anfertigen der Übergabedokumentation.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung	N	N		A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D-Planung)	Abrechnung von Leistungen
Baugerätesteuerung und -verwal-	Änderungsmanagement
Bestandserfassung	As-Built Modellierung
Modellierung (3D Planung)	Baufortschrittskontrolle
Nachtrags- und Mängelmanagement	Objektdokumentation
Planerstellung und -freigabe	

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung entsprechender Software und Hardware zur digitalen Erstellung der Baudokumentation und Anbindung an bestehende Softwarelandschaft. Schulungen in der Anwendung bei Bedarf.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erstellung der digitalen Baudokumentation mit Hilfe der implementierten Werkzeuge unter Berücksichtigung ggfs. bestehender unternehmensinterner Dokumentationsstandards oder denen des AG.

Nutzen
Transparente Dokumentation sämtlicher Abläufe auf der Baustelle Möglichkeit der automatisierten Weiterverarbeitung bspw. in Form von Fertigstellungsmeldungen oder Rechnungen.

Indikatoren	**Metriken**
Arbeitsintensität	Anzahl der Arbeitsstunden für Baudokumentation im Verhältnis zur Gesamtarbeitsdauer
Effizienz von Meetings	Anteil der wertschöpfenden Aktivitäten während eines Meetings
Qualität	Anzahl der Mängel zum Zeitpunkt der Abnahme

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,69

Bezeichnung	**Nr. 10 Baufortschrittskontrolle**

Kontinuierliche Kontrolle und Steuerung der Termine und Kosten, bzw. des aktuellen Baufortschritts und Kostenverlauf gegenüber der Planung. Der Vergleich zwischen Soll-Daten aus den 4D bzw. 5D Modellen und den Ist-Daten aus der Baudokumentation ermöglicht die Darstellung des Baufortschritts in Daten und Kennzahlen hinsichtlich Termine, Kosten, Qualität und Leistung.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung	N	N		A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Baudokumentation Bauablaufplanung (4D-Planung) Kostenermittlung (5D Planung)	Abrechnung von Leistungen Baufortschrittskontrolle

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Viewer-Software zur Betrachtung der Bauablaufmodelle für die Nutzer sowie Einführung von 4D-Sofware zur Erfassung der Ist-Termine und Darstellung im Vergleich zu Soll-Terminen der Bauablaufplanung durch Autor (vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 31)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Die Gebäudedatenmodelle sind von ihrer Struktur her dem Bauablauf anzupassen, damit der tatsächliche Baufortschritt entsprechend dargestellt werden kann. Ist-Werte sind zu erfassen und den Modellobjekten mit ihren Soll-Werten zuzuordnen (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 53)

Nutzen
Schnelle Identifikation von Bereichen mit Bauzeitverzögerung
Verkürzte Dauer zur Prüfung des Baufortschritts
Reduzierung von Terminüberschreitungen

Indikatoren	**Metriken**
Terminkonformität	Anzahl der Aktivitäten, die z. B. innerhalb einer Abweichung von < 1 Tag vom Soll-Zeitplan fertiggestellt werden. Anzahl termingerechter Fertigstellungen
Zeitabweichung	(Bauzeit - ursprüngliche Vertragslaufzeit - Fristverlängerung)/(ursprüngliche Vertragslaufzeit + Fristverlängerung)
Zeitliche Vorhersagegenauigkeit	(Istzeit - Sollzeit)/Istzeit

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,63
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,27
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,70
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,73

Bezeichnung	**Nr. 11 Baugerätesteuerung und -verwaltung**

Ableitung von Steuerungsdaten aus den Modellen für eine teil- oder vollautonome Steuerung der Geräte. Die verknüpfte Maschinensteuerung ermöglicht eine Standortverfolgung und automatische Übertragung der Leistung in die Modelle. Die Geräte- und Betriebsmittelverwaltung ist mit Bauablauf- und Ressourcenplanung verknüpft.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung				A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D-Planung) Baustellenkoordination Fachplanung Modellierung (3D Planung) Ressourcenplanung	Baudokumentation

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung computergesteuerter Geräte und Aufbau des entsprechenden Know-How zur Anwendung. Ggfs. ist die Ausstattung bestehender Geräte anzupassen. Dazu sind bei Bedarf Schulungen erforderlich und entsprechende Richtlinien zur Anwendung zu erarbeiten.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Aufbereitung der Modelle zur modellbasierten Planung der Baugeräte als Input für Gerätesteuerung (z. B. Weitergabe einzelner Modellobjekte an CNC-Fräse).

Nutzen

Abbau/Beseitigung ggfs. bestehender Sprachbarrieren

Erhöhung der Herstellungsproduktivität

Erhöhung der Produktqualität

Reduktion von Herstellungsfehlern und damit einhergehender Nacharbeit

Indikatoren	**Metriken**
Genauigkeit	Gesamtzahl der Fehler, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase
Leerlaufzeit	Leerlaufzeit von Maschinen oder Bereitschaftszeit der Mitarbeiter
Produktionsgeschwindigkeit	Fertiggestellte Bruttogeschossfläche (m^2) pro Bauzeit (Tag, Woche etc.)
Vorfertigung	Anzahl der Arbeitsstunden für Vorfertigung absolut oder relativ zur Anzahl der Gesamtprojektstunden
Wissensmanagement	Anzahl der Stunden für Instruktionen/ Arbeitsanweisungen

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,77
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,34
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,53

Bezeichnung	**Nr. 12 Baustellenkoordination**

Modellbasierte Baustelleneinrichtungsplanung, um permanente und temporäre Einrichtungen auf der Baustelle während des gesamten Bauprozesses abzubilden (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 55). Die Baustellenkoordination enthält zudem die Baustellenlogistikplanung zur Planung der Baustelleninfrastruktur, Verkehrsführung, Materialkoordination und -verfolgung (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 50)

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung				A	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D-Planung) Bestandserfassung Fachplanung	Arbeits- und Gesundheitsschutz Baugerätesteuerung und -verwal- Gewerkekoordination Planerstellung und -freigabe Ressourcenplanung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Softwarelösungen müssen AN-seitig eingeführt werden, verbunden mit entsprechenden Schulungen. Kein Implementierungsaufwand für AG (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 50).

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Ergänzung des bestehenden Bauwerksmodells. Aufwand für diese Ergänzungen lässt sich durch das Vorhandensein von Bibliothekselementen reduzieren. Durch Wiederverwendung von strukturierten Informationen liegen Eingangsdaten für die Logistikplanung vor, wodurch Effizienzgewinne realisiert werden können (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 50).

Nutzen	
Frühzeitige Identifikation logistischer Konflikte Schnellere und verbesserte Entscheidungsfindung durch Einsatz grafischer Komponenten Präzise Bewertung des Standortkonzeptes im Hinblick auf Sicherheitsbedenken	
Indikatoren	**Metriken**
Just-In-Time-Lieferung	Anzahl Materiallieferungen, die weniger als 24h vor geplanter Verwendung geliefert werden/Anzahl aller Materiallieferungen
Leerlaufzeit	Leerlaufzeit von Maschinen oder Arbeitern/Gesamtdauer
Sicherheit	Ausfalldauer wegen Unfällen/Gesamtdauer

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,67
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,43
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,75
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,28
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,69

Bezeichnung	**Nr. 13 Bauwerksanalyse/Leistung überwachen**

Die Leistungsfähigkeit eines Bauwerks wird während der Planungsphase simuliert und vorhergesagt. Während des Betriebs wird sie mit Hilfe von Echtzeitdaten aus Sensoren überwacht. Es können bspw. Informationen zu Belegung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Toxizität und Energieverbrauch betrachtet werden.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Ingenieurtechnische Analysen Modellierung (3D Planung)	Automatisierung Facility Management Katastrophenmanagement Nachhaltigkeitsbewertung Flächenmanagement

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die entsprechende Simulationen in der Planung ermöglicht sowie Software, die Echtzeitdaten erfassen und auswerten kann. Bei Bedarf sind Schulungen zur Anwendung notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Detaillierung der Modelle in einer Form, so dass Simulationen möglich sind und Durchführung der Simulationen. Daraus ggfs. entstehende Änderungen bilden erneuten Input für Fachplanung und Modellierung

Nutzen

Geringere Kosten

Verbesserte Anlagenqualität und Gebäudeeigenschaften

Indikatoren	Metriken
CO2-Bilanz	Ökologischer Fußabdruck (Carbon Footprint) der verwendeten Baustoffe
Genauigkeit	Genauigkeit der Energiemodelle in Bezug auf die Realität
Kostenvorhersagegenauig-	(Istkosten - Sollkosten)/Istkosten
Nachhaltigkeit	Ergebnisse oder Bewertungen von Nachhaltigkeitszertifizierungen
Zufriedenheit	Abfrage der Zufriedenheit der Gebäudenutzer bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,72
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,22
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 14 Bestandserfassung**

Erfassung der wesentlichen Aspekte des Bestands in Form von 3D-Modellen. Die Daten können aus bestehenden Unterlagen und mittels Vermessung, Laserscanning, Photogrammmetrie oder geographischen Informationssystemen etc. erzeugt werden (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 32). Es werden z. B. Abstände, Höhen, Richtungen und Winkel auf der Erdoberfläche vermessen, um den Abgleich zwischen Realität und Modell herzustellen. Die Bestandserfassung kann zudem zur Baufortschrittskontrolle, As-Built Modellierung oder bei Umbau von Bauwerken genutzt werden.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung				A		
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
	As-Built Modellierung Baudokumentation Baustellenkoordination Modellierung (3D Planung) Standortanalyse

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Spezifikation zu Inhalt, Struktur und Umfang der Gebäudedatenmodelle notwendig. Einführung entsprechender Software zur Überführung von Bestandsinformationen in Modelle. Bei Bedarf sind Schulungen notwendig. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 10)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Aufnahme der Bestandsinformationen und Überführung in Gebäudedatenmodell (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 33)

Nutzen
Reduktion von Risiken durch exakte Berücksichtigung der tatsächlichen Gegebenheiten
Unterstützung von Entscheidungsprozessen des AG durch belastbare Daten

Indikatoren	**Metriken**
Informationsanfrage (RFI)	Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase
Konflikte	Anzahl an Konflikten z. B. in Form von Nachträgen
Nacharbeitungsumfang	Zeitaufwand der Mitarbeiter für Behebung von Problemen
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes (absolut oder relativ zu Gesamtprojektkosten)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,57
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,37
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,83
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,79
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,35
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,80

Bezeichnung	**Nr. 15 Entwurfsbewertung**
Verschiedene Planungsvarianten der Architektur- oder Fachmodelle werden hinsichtlich Kosten, Terminen bzw. Qualität bewertet (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 34). Der Bauherr gibt Rückmeldung und macht Anmerkungen zu den verschiedenen Entwürfen (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 66).	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D-Planung) Fachplanung Ingenieurtechnische Analysen Kostenermittlung (5D Planung) Modellierung (3D Planung) Visualisierung	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Erstellung der Modelle. Bei Bedarf sind Schulungen zur Erstellung der Modelle und zur Anwendung von Werkzeugen zur Betrachtung der Modelle notwendig.
(Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 12)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erstellung der Ausgangsmodelle zur Ableitung oder Generierung von Planungsalternativen und Bewertung dieser nach festzulegenden Kriterien.

Nutzen

Beschleunigung der Planung durch schnellere Variantenerstellung
Erhöhung der Bauwerksqualität durch optimierte Planung
Verbesserte Entscheidungsgrundlage

Indikatoren	Metriken
Planungsdauer	Dauer der Planungsleistungen, ggfs. differenziert nach Art oder Beteiligten absolut oder im Verhältnis zu vergleichbaren Projekten
Angemessenheit von Meetings	Anteil der Punkte auf einer Tagesordnung, die die Mehrheit der Teilnehmer als wertschöpfend ansieht soll z. B. > 70% sein.
Herstellungs-kosten	Herstellungskosten, ggfs. differenziert nach Art oder Beteiligten absolut oder im Verhältnis zu vergleich-baren Projekten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,57
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,30
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,77
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,84
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,54
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,71

Bezeichnung	**Nr. 16 Fachplanung**
Erstellung und Anpassung der gewerkespezifischen Fachmodelle durch die Fachplaner auf Basis eines Referenzmodells. Beinhaltet u. a. die Planung des Tragwerks, der TGA und der Ausführungsplanung.	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		N	A			
Projektrealisierung				N	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Modellierung (3D Planung)	Arbeits- und Gesundheitsschutz Ausschreibung und Vergabe Bauablaufplanung (4D-Planung) Baugerätesteuerung und -verwaltung Baustellenkoordination Bauwerksanalyse Entwurfsbewertung Genehmigungsplanung Gewerkekoordination Ingenieurtechnische Analysen Kostenermittlung (5D Planung) Mengenermittlung Nachhaltigkeitsbewertung Planerstellung und -freigabe Regelprüfung Visualisierung Vorfertigung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Einführung von Software zur modellbasierten Erstellung von Fachplanungen und Fähigkeit, Gebäudedatenmodelle anderer einzulesen. Bei Bedarf sind entsprechende Schulungen notwendig. Entsprechende Regelungen bspw. zum Referenzieren oder Objektbezeichnung sind zu erarbeiten.
Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])
Modellbasierte Erstellung der Fachplanung gemäß Vorgaben.
Nutzen
Exaktes Referenzieren der Fachplanungen in Architekturplanung Exaktes Referenzieren der Architekturplanung in Fachplanungen Verbesserte Planungsqualität durch detaillierte 3D-Planungen Verbesserte Nutzung von Wissen nachgelagerter Beteiligter in den Lieferketten durch transparenten und leichten Informationsfluss

Indikatoren	**Metriken**
Informationsanfrage (RFI)	Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase Bearbeitungsdauer der RFI
Kollisionen	Anzahl der Kollisionen nach Art, Beteiligten oder Phase Bearbeitungsdauer der Kollisionen Kosten der Kollisionen
Konflikte	Anzahl oder Kosten der Nachträge
Modellkonsistenz	Anzahl der Modelle mit Konflikten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,77
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,37
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 17 Facility Management**
Übertragung des Bestandsmodells in ein Facility Management Programm zur Verwaltung und Bewirtschaftung von Bauwerken. Beinhaltet die Entwicklung eines Wartungs- und Instandhaltungskonzepts mit Terminplänen, Wartungszyklen, Instandsetzungsmaßnahmen und Dokumentation sowie das Beschaffungsmanagement der Gebrauchsgüter.	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
Arbeits- und Gesundheitsschutz	Abrechnung von Leistungen
As-Built Modellierung	Flächenmanagement
Asset Management	Katastrophenmanagement
Bauwerksanalyse	
Objektdokumentation	

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung geeigneter FM-Software und Festlegung der geplanten Maßnahmen die mittels Software gesteuert und überwacht werden sollen. Bei Bedarf sind Schulungen notwendig. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 39)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Übertragung der Informationen der Planungs- und Baumodelle oder des As-Built-Modells in geeignete FM-Software. Ggfs. sind zusätzliche Aufwendungen notwendig, wenn die benötigen Informationen nicht von Beginn an eingepflegt wurden, sondern nachträglich ergänzt werden müssen.

Nutzen
Kostenersparnis durch Weiterverwendung der Modellobjekte im Betrieb
Reduzierte Betriebs- und Instandhaltungskosten
Transparente Darstellung von zu wartenden Objekten in Modellform

Indikatoren	**Metriken**
Betriebskosten	Betriebskosten, ggfs. differenziert nach Art oder Beteiligten absolut oder im Verhältnis zu vergleichbaren Projekten
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,80
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,43
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,90
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,61
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,05
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,67

Bezeichnung	**Nr. 18 Flächenmanagement**					
Verwaltung von Flächen und Belegung von Räumen innerhalb eines Bauwerks mit Hilfe des modellbasierten Flächenmanagements. Ermöglicht die Planung von Veranstaltungen und dient zur Koordination von Umzügen oder Verlagerung von beweglichen Gütern innerhalb eines Objekts.						
Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
As-Built Modellierung Facility Management Bauwerksanalyse	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur digitalen Verwaltung von Flächen und Benennung von Bereichen in Gebäudedatenmodellen. Ggfs. sind Objekte mit entsprechenden Sensoren auszustatten. Bei Bedarf sind Schulungen notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Benennung von Bereichen gemäß Vorgaben und Verknüpfung mit echten Flächen oder Objekten.

Nutzen

Reduzierte Betriebskosten
Verbesserte Effizienz
Verbessertes Flächenmanagement

Indikatoren	**Metriken**
Betriebskosten	Betriebskosten, ggfs. differenziert nach Art oder Beteiligten absolut oder im Verhältnis zu vergleichbaren Projekten
Flächennutzung	Belegte Fläche in m² pro Mitarbeiter Anteil leerstehender Fläche im Verhältnis zur Gesamtfläche, ggfs. differenziert nach Leerstand-Dauer
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,70
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,21
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 19 Genehmigungsplanung**

Ableiten der nötigen Dokumente (Planungsunterlagen, Beschreibungen und Berechnungen) aus dem Bauwerksdatenmodell (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 40). Die Unterlagen werden den Behörden digital bereitgestellt. Die Behörden bearbeiten den Genehmigungsantrag digital.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Ingenieurtechnische Analysen Modellierung (3D Planung) Planerstellung und -freigabe Regelprüfung	Ausschreibung und Vergabe Objektdokumentation

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Entwicklung und Einführung entsprechender Schnittstellen zur Einreichung von Gebäudedatenmodellen bei Genehmigungsbehörden sowie Entwicklung computerlesbarer Genehmigungsanforderungen. Einführung entsprechender Software bei allen Beteiligten und Schulungen nach Bedarf. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 19)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erstellung von Modellobjekten gemäß behördlichen Vorgaben und Vorabprüfung der Modelle auf Genehmigungsfähigkeit.

Nutzen

Verbesserte Qualität der Genehmigungsunterlagen
Verkürzter Genehmigungsprozess

Indikatoren	**Metriken**
Änderungen	Anzahl notwendiger Änderungen zur Erteilung der Baugenehmigung. Kosten der Änderungen, ggfs. differenziert nach Beteiligten oder Phase
Genehmigungsdauer	Dauer von Einreichung Bauantrag bis Erteilung Genehmigung
Genehmigungskosten	Kosten für Erhalt der Baugenehmigung
Informationsanfragen	Anzahl an Rückfragen

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,27
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,77
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,62

Bezeichnung	**Nr. 20 Gewerkekoordination**

Zusammenführung der Fachmodelle in Koordinationsmodell, um Kollisionsprüfung durchzuführen (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 38). Die geometrischen Konflikte zwischen den Modellen werden im Kollisionsbericht dokumentiert und systematisch behoben. Diese Methode kann auch zur Koordination der Gewerke auf der Baustelle verwendet werden, um Konflikte während der Ausführung zu vermeiden
(vgl. *Sanchez et al.*, 2016, S. 234).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	N			
Projektrealisierung				A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D-Planung) Baustellenkoordination Fachplanung Modellierung (3D Planung) Änderungsmanagement	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Software zur Koordination und Prüfung der Modelle ist einzuführen, ggfs. sind Schulungen notwendig. Zusätzlich müssen Prozesse und Regeln erstellt werden, wie auftretende Modellkonflikte formal behandelt und gelöst werden. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 38)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Durchführung der Gewerkekoordination gemäß festgelegter Prozesse und Lösung der Modellkonflikte gemäß erarbeiteter Regeln.

Nutzen
Reduktion der Planungs- und Ausführungsfehler
Reduziertes Risiko
Software kann bereits bei der Modellerstellung auf Basis bestimmter Regeln Konflikte feststellen (ähnlich z. B. der Rechtschreibprüfung in der Textbearbeitung) und den Autor darauf hinweisen. Diese kann die Anzahl der potenziellen Konflikte vorab deutlich reduzieren.
Verbesserte Koordination
Weniger Nacharbeit

Indikatoren	Metriken
Effizienz von Meetings	Anteil der wertschöpfenden Aktivitäten während eines Meetings
Genauigkeit	Anzahl der Arbeitsstunden zur Erstellung des As-Built-Modells als Konsequenz aus Abweichungen auf der Baustelle zum Planungsmodell
	Gesamtanzahl der Fehler, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase
Kollisionen	Gesamtanzahl der Kollisionen
	Anzahl der Kollisionen nach Art, Beteiligten oder Phase
	Kosten der Kollisionen (gesamt oder pro Stück)
	Bearbeitungsdauer der Kollisionen
Modellkonsistenz	Anzahl der Modelle mit Konflikten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,50
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,27
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,87
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,90
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,64
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,88

Bezeichnung	**Nr. 21 Ingenieurtechnische Analysen**

Nutzung der Modelle zur Simulation und Bemessung bezüglich Tragwerkverhalten, Brandschutz, Schallschutz, Energieverbrauch, Lichteinfall, Windstudien etc.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Modellierung (3D Planung)	Bauwerksanalyse Entwurfsbewertung Genehmigungsplanung Katastrophenmanagement Nachhaltigkeitsbewertung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Entwicklung und Einführung von Software, die Gebäudedatenmodelle zur Analyse und Nachweisführung einlesen kann. Ggfs. sind Schulungen zur Anwendung der Software notwendig. Zur Sicherstellung der softwareübergreifenden Modellnutzung sind entsprechende Richtlinien festzulegen. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 15)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erstellung der Modellinhalte gemäß Richtlinien und Durchführung der Analysen.

Nutzen

Einfachere Ermittlung und Analyse von Alternativen

Verbesserte Transparenz und damit Nachvollziehbarkeit der Analysen und Nachweise

Verminderter Aufwand durch Vermeidung von Mehrfacheingaben

Indikatoren	**Metriken**
CO_2-Bilanz	Ökologischer Fußabdruck (Carbon Footprint) der verwendeten Baustoffe
Nachhaltigkeit	Ergebnisse oder Bewertungen von Nachhaltigkeitszertifikaten
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)
Qualität	Anzahl der Mängel, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase (vor Abnahme, bei Abnahme, während Gewährleistungsphase)
Wissensmanagement	Anzahl oder Einsparhöhe von Verbesserungsvorschlägen der Mitarbeiter

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,83
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,47
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,63
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,68
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,17
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,74

Bezeichnung	**Nr. 22 Katastrophenmanagement**

Simulation des Bauwerkssystems sowie der Personen und Menschenmassen während einer Notsituation z. B. Brand, Explosion, Erdbeben usw. zur Entwicklung eines Notfall- und Rettungskonzepts auf Basis der Bauwerksdatenmodelle. Den Rettungskräften können wichtige Informationen zu den Rettungskonzepten und Echtzeit-Bauwerksinformationen bereitgestellt werden, um Effizienz und Sicherheit zu erhöhen (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 53).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung				N		
Projektbetrieb						N

Input-AWF	**Output-AWF**
As-Built Modellierung Bauwerksanalyse Facility Management Ingenieurtechnische Analysen Objektdokumentation	Automatisierung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Entwicklung und Einführung von Software zur Simulation von Katastrophenszenarien. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig und entsprechende Prüfregularien zu erarbeiten.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Durchführung der Szenarien-Simulationen sowie Anbindung wesentlicher Gebäude-Sensorik an Notrufzentralen.

Nutzen
Erhöhung der tatsächlichen und der gefühlten Sicherheit der Nutzer
Minimierung der Risiken für Einsatzkräfte
Verbesserung der Wirksamkeit von Notfallmaßnahmen (z. B. Evakuierungsdauer)

Indikatoren	**Metriken**
Nutzerzufriedenheit	Abfrage der Nutzerzufriedenheit bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)
Sicherheit	Klassische Metriken, die den Anteil an Arbeitsunfällen o. ä. betrachten, wie z. B. LTI, LTIF, FAC oder MTC

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,57
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,36
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 23 Kostenermittlung (5D Planung)**

Zusätzlich zu den Zeitinformationen werden die Objekte eines 3D Modells mit Kostenansätzen verknüpft, um ein 5D-Modell zu erhalten und den Kostenverlauf zu prognostizieren. Dabei werden modellbasierte Mengen und der Material-/Personalbedarf berücksichtigt.
(vgl. *VDI* 2552 Blatt 2, 2018, S. 2)

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung	N	A	A	A		
Projektrealisierung	N			A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D-Planung)	Abrechnung von Leistungen
Fachplanung	Ausschreibung und Vergabe
Mengenermittlung	Baufortschrittskontrolle
Modellierung (3D Planung)	Entwurfsbewertung
	Nachtrags- und Mängelmanagement
	Ressourcenplanung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Verknüpfung modellbasierter Mengendaten oder Objekten mit Kosten- oder Preisansätzen zur Kalkulation. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig. Vgl. *Borrmann et al.* (2019, S. 23)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Verknüpfung der Mengendaten oder Objekten mit Kosten- oder Preisansätzen. Ggfs. ist zusätzlicher Aufwand zur Erfassung der Objekte notwendig, wenn diese nicht nach festzulegenden Regeln erstellt wurden.

Nutzen
Einfachere Ermittlung und Analyse von Alternativen
Genauere Kostenberechnung
Reduziertes Risiko
Verbesserte Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse

Indikatoren	Metriken
Änderungs- oder Fehlerkosten	Kosten für Einarbeitung von Änderungen oder die Behebung von Fehlern
Genauigkeit	Abweichungen zwischen Kalkulation (Sollkosten) und Istkosten
Gesamtkosten	Gesamtkosten absolut oder im Vergleich zu vergleichbaren Projekten
Kostenvorhersage-genauigkeit	(Istkosten - Sollkosten)/Istkosten
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes absolut oder relativ zu den Gesamtkosten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,63
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,20
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,83
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,73
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,25
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,82

Bezeichnung	**Nr. 24 Mengenermittlung**

Ermittlung von Mengen (Volumen, Fläche, Länge, Stückzahl) aus 3D-Modellen. Diese Daten werden für die Kostenberechnung und Angebotskalkulation benötigt und ermöglichen eine Anfrage bei Zulieferern z. B. für Einrichtungsgegenstände oder Baumaterialien.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A	A		
Projektrealisierung				A	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Modellierung (3D Planung)	Abrechnung von Leistungen Ausschreibung und Vergabe Kostenermittlung (5D Planung) Ressourcenplanung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Abfrage relevanter Mengen von modellierten Objekten. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig und entsprechende standardisierte Abfrageregeln zu erstellen.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Abfrage der benötigten Mengen mittels zu formulierender Regeln (QTO, Quantity-Takeoff-Codes)

Nutzen

Genauere Mengenermittlung
Reduziertes Risiko
Verbesserte Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse

Indikatoren	Metriken
Bearbeitungsdauer	Dauer für die Erstellung eines Angebots (Eingang Anfrage bis Abgabe Angebot)
Genauigkeit	Anzahl der Fehler, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase
Informationsanfrage (RFI)	Gesamtanzahl der RFI Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase
Kostenvorhersage-genauigkeit	(Istkosten - Sollkosten)/Istkosten
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes absolut oder relativ zu den Gesamtkosten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,86

Bezeichnung	**Nr. 25 Modellierung (3D Planung)**

Erstellung und Erweiterung der geometrischen Strukturen und parametrischen Abhängigkeiten des Bauwerksdatenmodells in der notwendigen Detailtiefe. Bildet die Grundlage zur Ermittlung von Eigenschaften, Mengen, Mitteln, Methoden, Kosten und Zeitplänen (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 60).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung	N			A	N	
Projektbetrieb						N

Input-AWF	**Output-AWF**
Bestandserfassung	Änderungsmanagement
Raum- und Funktionsprogramm	Arbeits- und Gesundheitsschutz
Standortanalyse	As-Built Modellierung
	Ausschreibung und Vergabe
	Bauablaufplanung (4D-Planung)
	Baudokumentation
	Baugerätesteuerung und -verwal-
	Bauwerksanalyse
	Entwurfsbewertung
	Entwurfsbewertung
	Fachplanung
	Genehmigungsplanung
	Gewerkekoordination
	Ingenieurtechnische Analysen
	Kostenermittlung (5D Planung)
	Mengenermittlung
	Nachhaltigkeitsbewertung

	Nachtrags- und Mängelmanagement Planerstellung und -freigabe Regelprüfung Visualisierung Vorfertigung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Erstellung der gewerke- oder rollenspezifischen Gebäudedatenmodelle (z. B. Architekturmodell, Tragwerksmodell oder Lüftungsmodell etc.). Ggfs. sind zur Anwendung der Software Schulungen notwendig. Zusätzlich sind entsprechende Modellierungsrichtlinien zu entwickeln.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erstellung der Gebäudedatenmodelle unter Berücksichtigung der Modellierungsrichtlinien.

Nutzen

Einfachere Ermittlung und Analyse von Alternativen
Verbessertes Daten- und Informationsmanagement

Indikatoren	**Metriken**
Konflikte	Anzahl an Nachträgen
Informationsanfrage (RFI)	Gesamtanzahl der RFI, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase
Wartezeit	Entscheidungslatenzzeit (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,76
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,42
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,90

Bezeichnung	**Nr. 26 Nachhaltigkeitsbewertung**

Das Bauwerksdatenmodell wird zur Bewertung und Zertifizierung eines Bauprojekts nach definierten Nachhaltigkeitskriterien z. B. LEED oder DGNB verwendet. Es lassen sich Umweltauswirkungen, Lebenszykluskosten, Ökobilanz und Energieverbrauch des Bauwerks abschätzen um frühzeitig Optimierungen vorzunehmen (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 64).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N					
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						N

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauwerksanalyse Fachplanung Ingenieurtechnische Analysen Modellierung (3D Planung)	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die modellbasierte Bauwerksinformationen oder Gebäudedatenmodelle hinsichtlich festzulegender Nachhaltigkeitskriterien bewerten kann. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Hinterlegung relevanter Informationen an den zu modellierenden Objekten sowie Durchführung der Bewertung.

Nutzen

Bessere Ressourcenverwendung
Einfachere Ermittlung von Auswirkungen
Einfachere Ermittlung und Analyse von Alternativen
Gesteigerte Wettbewerbsvorteile

Indikatoren	Metriken
CO2-Bilanz	Ökologischer Fußabdruck (Carbon Footprint) der verwendeten Baustoffe
Kundenzufrieden-heit	Abfrage der Kundenzufriedenheit bei festzulegen-den Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)
Nachhaltigkeit	Ergebnisse oder Bewertungen von Nachhaltigkeitszertifikaten
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem be-stimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,73
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,23
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,61

Bezeichnung	**Nr. 27 Nachtrags- und Mängelmanagement**

Nutzung des Modells zur Erfassung und Darstellung von Mängeln und Nachträgen. Durch die Verknüpfung mit den Objekten lässt sich die Position der Mängel und Nachträge exakt nachvollziehen und die Dokumentation strukturiert ablegen. Die Koordination und Dokumentation der Mängelbeseitigung und Nachtragsabwicklung läuft ebenso über das Mo-

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung	N			A		
Projektbetrieb						N

Input-AWF	**Output-AWF**
As-Built Modellierung Ausschreibung und Vergabe Kostenermittlung (5D Planung) Modellierung (3D Planung)	Abrechnung von Leistungen Baudokumentation

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Dokumentation und Nachverfolgung von Nachträgen und Mängeln. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 36) Die Software sollte dazu in der Lage sein, die sich aus dem Vertrag ergebenden Anforderungen an die Beschaffenheit der einzelnen Bauteile objektbasiert hinterlegen und deren Einhaltung prüfen zu können. Ggfs. sind dazu entsprechende Regelungen oder Checklisten zu erarbeiten.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Angabe der vertraglichen Beschaffenheit der einzelnen Objekte sowie modellbasierte Dokumentation der Nachträge und Mängel.

Nutzen
Beschleunigte Prozesse
Reduzierter Verwaltungsaufwand
Reduziertes Risiko
Verbessertes Daten- und Informationsmanagement

Indikatoren	**Metriken**
Bearbeitungsdauer	Dauer für die Bearbeitung eines Nachtrags oder Mangels (Eingang Anzeige bis Fertigstellung)
Konflikte	Anzahl an Nachträgen oder Mängeln Kosten für Nachträge oder Mängel
Kosten für Gewährleistung	Gesamtkosten für Gewährleistungsmängel absolut oder relativ zu den Gesamtkosten
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes absolut oder relativ zu den Gesamtkosten
Wissensmanagement	Anzahl der Prozesse die ohne Fehler abgeschlossen wurden

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,53
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,30
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,80
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,78

Bezeichnung	**Nr. 28 Objektdokumentation**

In der Objektdokumentation wird die Abnahme des Objekts dokumentiert. Die Objektdokumentation wird aus der Baudokumentation erstellt und enthält mit dem As-Built Modell verknüpfte Handbücher, Zertifikate, Gewährleistungsfristen etc. Zu Beginn des Projektbetriebs wird die Objektdokumentation an den Nutzer übergeben.

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung	N	A	A	A	A	
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
Abrechnung von Leistungen	Asset Management
As-Built Modellierung	Facility Management
Baudokumentation	Katastrophenmanagement
Planerstellung und -freigabe	Rückbau

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die relevante Informationen zur Objektdokumentation modellbasiert an den einzelnen Objekten hinterlegen kann. Ggfs. sind dazu Schulungen erforderlich.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Hinterlegung der entsprechenden Informationen zur Objektdokumentation an den modellierten Objekten. Welche Informationen hinterlegt werden sollen ist rechtzeitig AG-seitig festzulegen.

Nutzen

Bessere Wissensnutzung der Lieferkette
Personaleinsparung im Asset Management
Verbessertes Daten- und Informationsmanagement
Verbesserte Qualitäts- und Prozessdokumentation

Indikatoren	Metriken
Arbeitsintensität	Anzahl der Arbeitsstunden für Baudokumentation im Verhältnis zur Gesamtarbeitsdauer
Informationsanfrage (RFI)	Anzahl der RFI nach Art, Beteiligten oder Phase Bearbeitungsdauer der RFI
Kosten für Gewährleistung	Gesamtkosten für Gewährleistungsmängel absolut oder relativ zu den Gesamtkosten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,68

Bezeichnung	**Nr. 29 Planerstellung und -freigabe**

Dynamische Ableitung und Bereitstellung von Daten (Plänen, Listen etc.) aus den Bauwerksmodellen. In Abhängigkeit der Leistungsphase in unterschiedlichen Detaillierungsgraden (Entwurfspläne, Ausführungspläne etc.) (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 51).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung				A	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Baustellenkoordination	As-Built Modellierung
Fachplanung	Ausschreibung und Vergabe
Modellierung (3D Planung)	Baudokumentation
	Genehmigungsplanung
	Objektdokumentation
	Vorfertigung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die aus Gebäudedatenmodellen Pläne oder Listen nach festzulegenden Richtlinien (z. B. Detaillierungsgrad, Maßstab etc.) ableiten kann. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig. Zusätzlich wird Software benötigt, die modellbasierte Kommentierungen ermöglicht und entsprechende Prüf- und Freigabeworkflows bietet. Dazu können weiter Schulungen notwendig sein. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 22)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Kommentieren, prüfen und freigeben der Pläne

Nutzen	
Fehlerfreie Ableitung von Plänen oder Listen	
Schnellere bzw. automatische Erstellung von Plänen oder Listen	
Schnellere Anpassung der Pläne oder Listen bei Änderungen	

Indikatoren	**Metriken**
Dauer	Dauer zur Erstellung der Pläne oder Listen
Genauigkeit	Anzahl der Fehler in aus den Gebäudedatenmodellen abgeleiteten Plänen
Nacharbeitungsumfang	Zeitaufwand zur Behebung von Problemen

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,60
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,33
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,73
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,81

Bezeichnung	**Nr. 30 Raum- und Funktionsprogramm**

Dokumentation der Anforderungen des AG an Raum und Funktion (vgl. *Hausknecht* und *Liebich*, 2016, S. 173). Mit spezieller Raumanalysesoftware werden erforderliche Räume zu Nutzungsbereichen zusammengestellt. Alternativ kann Software ein Nutzungskonzept auf Basis zuvor festgelegter Parameter vorschlagen.

Rolle / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
	Modellierung (3D Planung)

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software zur Verwaltung von Räumen und zur Zuweisung von Funktionen bestimmter Flächen, basierend auf dem Architektur- oder As-Built-Modell. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Anwendung der Software zur Belegung der Räume und Flächen.

Nutzen

Prüfung der Planung auf Anforderungen des späteren Raum- und Funktionsprogramms

Simulation der Raum- und Flächennutzung in der Planungsphase

Indikatoren	**Metriken**
Flächennutzung	Fläche (m^2 etc.) pro Einheit (Mitarbeiter, Anzahl Produktionsmaschinen etc.)
Kundenzufrieden-heit	Abfrage der Kundenzufriedenheit bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)
Nutzerzufriedenheit	Abfrage der Nutzerzufriedenheit bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,74
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,31
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 31 Regelprüfung**
Automatische Prüfung des Modells auf zuvor festgelegte oder eingelesene Parameter/Richtlinien wie z. B. Fluchtweglängen oder Normen.	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung		A	A			
Projektrealisierung				A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Arbeits-/Gesundheitsschutz Fachplanung Modellierung (3D Planung)	Genehmigungsplanung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Formulierung von Regeln in computerinterpretierbarer Form. Dabei kann es sich um individuelle Regeln (z. B. Prüfen ob jeder Raum mit einer Tür versehen ist o. ä.) oder um die Formulierung gesetzlicher Vorgaben oder Normen handeln (z. B. Einhalt der maximalen Fluchtweglänge, Abstandsflächen oder EnEV-Anforderungen). Ggfs. sind entsprechende Schulungen notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Bei Bedarf sind modellierte Objekte mit relevanten Kennwerten zur Prüfung zu ergänzen. Im Anschluss ist die automatisierte Prüfung durchzuführen.

Nutzen

Beschleunigung von Entscheidungsprozessen
Erhöhung der Produktqualität
Reduziertes Risiko
Schnellere Einhaltung von Anforderungen/Prüfung von Regeln
Weniger Fehler

Indikatoren	**Metriken**
Gesamtdauer	Fertigstellungstermin - Projektbeginn absolut oder relativ zu vergleichbaren Projekten
Konflikte	Anzahl an Nachträgen/Mängeln Kosten für Nachträge/Mängel
Qualität	Anzahl der Mängel, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase (vor Abnahme, bei Abnahme, während Gewährleistungsphase)
Risiko	Kosten für Unvorhergesehenes absolut oder relativ zu den Gesamtkosten
Wartezeit	Entscheidungslatenzzeit (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,69
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,19
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 32 Ressourcenplanung**

Einsatz- und Ressourcenplanung (Disposition) von Personal und Geräten auf Basis des 4D-Modells zur Sicherstellung der Materialverfügbarkeit

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung				A		
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D Modell) Baustellenkoordination Kostenermittlung (5D Planung) Mengenermittlung	Baugerätesteuerung und -verwal-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die Zugriff auf Personalverfügbarkeit und Materialbestände hat, damit diese Informationen mit dem 4D-Modell verknüpft werden können. Ggfs. sind dazu Schulungen erforderlich.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Verknüpfung der Personal- und Materialdaten mit den Modellinformationen zur Disposition.

Nutzen

Optimierung der Bauabläufe (Just-in-time)
Verbessertes Daten- und Informationsmanagement
Verbesserte Kommunikation
Verbesserte Produktivität

Indikatoren	**Metriken**
Gesamtdauer	Fertigstellungstermin - Projektbeginn absolut oder relativ zu vergleichbaren Projekten
Informationsanfrage (RFI)	Anzahl der RFI
Produktionsgeschwindigkeit	Fertiggestellte Fläche (m² BGF etc.) pro Bauzeit (Tag, Woche, etc.)
Terminkonformität	Anzahl der Aktivitäten die innerhalb einer festzulegenden Abweichung (z. B. < 1 Tag) vom Zeitplan fertigstellt werden (absolut oder relativ zur Anzahl aller Aktivitäten)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,62

Bezeichnung	**Nr. 33 Rückbau**
Informationen aus dem Bauwerksmodell zu Aufbau, Materialien etc. werden für die Planung des Abbruchs/Rückbau und zur Aufstellung eines Verwertungskonzepts genutzt.	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						A

Input-AWF	**Output-AWF**
As-Built Modellierung Asset Management Objektdokumentation	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software die es ermöglicht, rückbaurelevante Daten (z. B. Schadstoffanteile, Entsorgungshinweise oder Entsorgungskosten) den modellierten Objekten zuzuweisen. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig und entsprechende Richtlinien oder Checklisten zu erarbeiten.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Verknüpfung der modellierten Objekte mit den rückbaurelevanten Daten unter Beachtung der Richtlinien und Checklisten.

Nutzen

Bessere Wissensnutzung der Lieferkette, da Produktinformationen aus Planung und Herstellung nicht verloren gehen

Bessere Ressourcenverwendung

Frühzeitige Analyse von Auswirkungen des Projekts auf den Rückbau und damit den Lebenszyklus

Indikatoren	**Metriken**
CO2-Bilanz	Ökologischer Fußabdruck (Carbon Footprint) der verwendeten Baustoffe
Nachhaltigkeit	Ergebnisse oder Bewertungen von Nachhaltigkeitszertifikaten
Ressourcennutzung	Gesamtmenge einer Ressource, die in einem bestimmten Zeitraum verbraucht wird (z. B. Wassermenge pro Monat, kWh pro Monat etc.)
Rückbaukosten	Kosten für den Rückbau absolut oder relativ zu vergleichbaren Projekten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,59

Bezeichnung	**Nr. 34 Standortanalyse**

Nutzung von BIM- und GIS-Anwendungen, um den optimalen/künftigen Standort eines geplanten Bauwerks zu bestimmen/prüfen (vgl. *Computer Integrated Construction Research Programm*, 2011, S. 68).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung						
Projektrealisierung						
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bestandserfassung	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Formulierung computerinterpretierbarer Regeln zur Prüfung oder Findung eines Standorts unter Berücksichtigung der Informationen aus dem digitalen Bestandsmodell. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Durchführung der Prüfung und ggfs. Bewertung der Prüfungsergebnisse

Nutzen

Besseres Flächenmanagement

Optimierte Ausrichtung (Planung) des Bauwerks

Indikatoren	**Metriken**
Einbindung von Beteiligten	Prozentuale Beteiligung der Stakeholder eines Bauprojekts bspw. an Überprüfungs- oder Genehmigungsprozessen
Konflikte	Anzahl an Konflikten (z. B. Widersprüche von Behörden oder Nachbarn) absolut oder relativ zu vergleichbaren Projekten
Nachhaltigkeit	Ergebnisse oder Bewertungen von Nachhaltigkeitszertifikaten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	**Wert**
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,71
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,28
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

Bezeichnung	**Nr. 35 Visualisierung**

Ableitung von Visualisierungen des geplanten Bauwerks aus dem BIM-Modell zur Darstellung der Entwürfe und Simulationen. (vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 35).

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung	N	A				
Projektplanung	N	A	A			
Projektrealisierung				N	N	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Bauablaufplanung (4D Planung) Fachplanung Modellierung (3D Planung)	Entwurfsbewertung

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die fotorealistische Visualisierungen ermöglicht, sofern die verwendete Modellierungssoftware diese selbst nicht bietet. Zur Anwendung sind ggfs. entsprechende Schulungen notwendig. (Vgl. *Borrmann et al.*, 2019, S. 14)

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Erzeugung der Visualisierungen in Form von Renderings, Begehungsvideos oder AR/VR Simulationen. Dieser Aufwand ist im Vergleich zur Erstellung der Visualisierungen oder Gebäudedatenmodell als vernachlässigbar gering einzuschätzen (Vgl. *BIM4Infra2020*, 2018, S. 35)

Nutzen

Einfachere und besser nachvollziehbare Darstellung komplexer Zusammenhänge

Verbesserte Darstellung kann Akzeptanz der Öffentlichkeit, Nachbarn oder sonstiger Stakeholder erhöhen

Verbesserte Entscheidungsfindung

Indikatoren	Metriken
Einbindung von Beteiligten	Prozentuale Beteiligung der Stakeholder eines Bauprojekts bspw. an Überprüfungs- oder Genehmigungsprozessen
Visualisierungszufriedenheit	Abfrage der Visualisierungszufriedenheit bei festzulegenden Kriterien mit Bewertung von z. B. 1 (sehr unzufrieden) bis 10 (sehr zufrieden)
Wartezeit	Entscheidungslatenzzeit (Zeitdifferenz zwischen der Anfrage einer Entscheidung und Bekanntgabe der Entscheidung)

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,33
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,23
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	0,83
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	-
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	-
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	0,80

Bezeichnung	**Nr. 36 Vorfertigung**
Nutzung der Modelldaten zur Ableitung von Plänen und Listen zur Vorfertigung von Bauteilen und Steuerung von Maschinen (CNC, 3D Druck etc.)	

Rollen / **Projektphasen**	Bauherr	Objektplaner	Fachplaner	Unternehmer	Zulieferer	Nutzer
Projektvorbereitung						
Projektplanung						
Projektrealisierung				A	A	
Projektbetrieb						

Input-AWF	**Output-AWF**
Fachplanung Modellierung (3D Planung) Planerstellung und -freigabe	-

Implementierungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Einführung von Software, die modellbasierte Objektinformationen an Herstellungsmaschinen überträgt. Ggfs. sind dazu Schulungen notwendig. Die Implementierung dieses AWF setzt das Vorhandensein entsprechender Herstellungsmaschinen wie CNC Fräse, 3D-Drucker etc. voraus.

Anwendungsaufwand (Arbeitsstunden [h] bzw. Kosten [€])

Prüfung der Modellobjekte auf Herstellbarkeit und Eingabe der für die Herstellung relevanten Produktionsparameter.

Nutzen

Beschleunigte Herstellung
Erhöhung der Produktqualität
Erhöhung der Prozessautomatisierung
Verkürzte Ausführungszeiten
Vermeidung von Fehlern durch digitale Weitergabe der Herstellungsdaten

Indikatoren	Metriken
Gesamtdauer	Fertigstellungstermin - Projektbeginn absolut oder relativ zu vergleichbaren Projekten
Genauigkeit und Fehleranzahl	Abweichungen zwischen Kalkulation (Sollkosten) und Istkosten
	Gesamtanzahl der Fehler, ggfs. differenziert nach Art, Beteiligten oder Phase
Kosten für Gewährleistung	Gesamtkosten der Gewährleistungsmängel oder Anteil der Gewährleistungskosten an Gesamtkosten
Produktionsgeschwindigkeit	Fertigstellte Fläche (BGF in m² etc.) pro Bauzeit (Tag, Woche etc.)
Qualität	Anzahl der Mängel zum Zeitpunkt der Abnahme Anzahl der Mängel in der Gewährleistungsphase
Vorfertigungsdauer	Anzahl der Arbeitsstunden für Vorfertigung absolut oder relativ zur Anzahl der Gesamtprojektstunden
Vorfertigungskosten	Kosten für Vorfertigung absolut oder relativ zur Anzahl der Gesamtprojektkosten

Orientierungswerte [normiert, Skala 0 bis 1]	Wert
Implementierungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Anwendungsaufwand nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *BIM4Infra2020* (2018, S. 14)	-
Nutzen nach *Kreider et al.* (2010, S. 6)	0,72
Verwendungshäufigkeit nach *Kreider et al.* (2010, S. 5)	0,14
Bedeutung für Projektziele nach *Deubel et al.* (2018)	-

FORSCHUNGSBERICHTE DES INSTITUTS FÜR TECHNOLOGIE UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB

Heft 1–62 institutsintern verlegt

Heft 1	**HANS PINNOW** Vergleichende Untersuchungen von Tiefbauprojekten in offener Bauweise	1972
Heft 2	**HEINRICH MÜLLER** Rationalisierung des Stahlbetonbaus durch neue Schalverfahren und deren Optimierung beim Entwurf	1972
Heft 3	**DIETER KARLE** Einsatzdimensionierung langsam schlagender Rammbäre aufgrund von Rammsondierungen	1972
Heft 4	**WILHELM REISMANN** Kostenerfassung im maschinellen Erdbau	1973
Heft 5	**GÜNTHER MALETON** Wechselwirkungen von Maschine und Fels beim Reißvorgang	1973
Heft 6	**JOACHIM HORNUNG** Verfahrenstechnische Analyse über den Ersatz schlagender Rammen durch die Anwendung lärmarmer Baumethoden	1973
Heft 7	**THOMAS TRÜMPER / JÜRGEN WEID** Untersuchungen zur optimalen Gestaltung von Schneidköpfen bei Unterwasserbaggerungen	1973
Heft 8	**GEORG OELRICHS** Die Vibrationsrammung mit einfacher Längsschwingwirkung – Untersuchungen über die Kraft- und Bewegungsgrößen des Systems Rammbär plus Rammstück im Boden	1974
Heft 9	**PETER BÖHMER** Verdichtung bituminösen Mischgutes beim Einbau mit Fertigern	1974
Heft 10	**FRITZ GEHBAUER** Stochastische Einflußgrößen für Transportsimulationen im Erdbau	1974

Heft 34	**NORBERT WARDECKI** Strömungsverhalten im Boden-/Werkzeugsystem	1986
Heft 35	**CHRISTIAN BENOIT** Meeresbergbau - Bestimmung der erforderlichen Antriebskraft von Unterwasserbaggern	1986
Heft 36	**ROLF VICTOR SCHMÖGER** Automatisierung des Füllvorgangs bei Scrapern	1987
Heft 37	**ALEXANDER L. MAY** Analyse der dreidimensionalen Schnittverhältnissen beim Schaufelradbagger	1987
Heft 38	**MICHAEL HELD** Hubschraubereinsatz im Baubetrieb	1989
Heft 39	**GUNTER SCHLICK** Adhäsion im Boden-Werkzeug-System	1989
Heft 40	**FRANZ SAUTER** Optimierungskriterien für das Unterwasser-schaufelrad (UWS) mittels Modellsimulation **- vergriffen -**	1991
Heft 41	**STEFAN BERETITSCH** Kräftespiel im System Schneidwerkzeug-Boden	1992
Heft 42	**HEINRICH SCHLICK** Belastungs- und Fließverhältnisse in Silos mit zentralen Einbauten und Räumarmaustrag	1994
Heft 43	**GÜNTHER DÖRFLER** Untersuchungen der Fahrwerkbodeninteraktion zur Gestaltung von Raupenfahrzeugen für die Befahrung weicher Tiefseeböden	1995
Heft 44	**AXEL OLEFF** Auslegung von Stellelementen für Schwingungserregerzellen mit geregelter Parameterverstellung und adaptive Regelungskonzepte für den Vibrationsrammprozeß	1996
Heft 45	**KUNIBERT LENNERTS** Stand der Forschung auf den Gebieten der Facility- und Baustellen-Layoutplanung	1997
Heft 46	**KUNIBERT LENNERTS** Ein hybrides, objektorientiertes System zur Planung optimierter Baustellen-Layouts	1997

Heft 47	**UWE RICKERS** Modellbasiertes Ressourcenmanagement für die Rettungsphase in Erdbebengebieten	1998
Heft 48	**ULRICH-PETER REHM** „Ermittlung des Antriebsdrehmomentes von Räumarmen in Silos mit Einbaukörper und kohäsivem Schüttgut“	1998
Heft 49	**DIRK REUSCH** Modellierung, Parameterschätzung und automatische Regelung mit Erschütterungsbegrenzung für das langsame Vibrationsrammen	2001
Heft 50	**FRANZ DIEMAND** Strategisches und operatives Controlling im Bauunternehmen	2001
Heft 51	**KARSTEN SCHÖNBERGER** Entwicklung eines Workflow-Management- Systems zur Steuerung von Bauprozessen in Handwerkernetzwerken	2002
Heft 52	**CHRISTIAN MEYSENBURG** Ermittlung von Grundlagen für das Controlling in öffentlichen Bauverwaltungen	2002
Heft 53	**MATTHIAS BURCHARD** Grundlagen der Wettbewerbsvorteile globaler Baumärkte und Entwicklung eines Marketing Decision Support Systems (MDSS) zur Unternehmensplanung	2002
Heft 54	**JAROSŁAW JURASZ** Geometric Modelling for Computer Integrated Road Construction (Geometrische Modellierung für den rechnerintegrierten Straßenbau)	2003
Heft 55	**SASCHA GENTES** Optimierung von Standardbaumaschinen zur Rettung Verschütteter	2003
Heft 56	**GERHARD W. SCHMIDT** Informationsmanagement und Transformationsaufwand im Gebäudemanagement	2003
Heft 57	**KARL LUDWIG KLEY** Positionierungslösung für Straßenwalzen - Grundlage für eine kontinuierliche Qualitätskontrolle und Dokumentation der Verdichtungsarbeit im Asphaltbau	2004

Heft 58 **JOCHEN WENDEBAUM** 2004
Nutzung der Kerntemperaturvorhersage zur
Verdichtung von Asphaltmischgut im Straßenbau

Heft 59 **FRANK FIEDRICH** 2004
Ein High-Level-Architecture-basiertes
Multiagentensystem zur Ressourcenoptimierung
nach Starkbeben

Heft 60 **JOACHIM DEDEKE** 2005
Rechnergestützte Simulation von Bauproduktions-
prozessen zur Optimierung, Bewertung und
Steuerung von Bauplanung und Bauausführung

Heft 61 **MICHAEL OTT** 2007
Fertigungssystem Baustelle - Ein Kennzahlensystem
zur Analyse und Bewertung der Produktivität von
Prozessen

Heft 62 **JOCHEN ABEL** 2007
Ein produktorientiertes Verrechnungssystem
für Leistungen des Facility Management im
Krankenhaus

HEFT 63–68 BEI KIT SCIENTIFIC PUBLISHING KARLSRUHE VERLEGT, ISSN 1868-5951

Heft 63	**JÜRGEN KIRSCH** Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme – Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer	2009
Heft 64	**MARCO ZEIHER** Ein Entscheidungsunterstützungsmodell für den Rückbau massiver Betonstrukturen in kerntechnischen Anlagen	2009
Heft 65	**MARKUS SCHÖNIT** Online-Abschätzung der Rammguttragfähigkeit beim langsamen Vibrationsrammen in nichtbindigen Böden	2009
Heft 66	**JOHANNES KARL WESTERMANN** Betonbearbeitung mit hydraulischen Anbaufräsen	2009
Heft 67	**FABIAN KOHLBECKER** Projektbegleitendes Öko-Controlling Ein Beitrag zur ausgewogenen Bauprojektrealisierung beispielhaft dargestellt anhand von Tunnelbauprojekten	2010
Heft 68	**AILKE HEIDEMANN** Kooperative Projektabwicklung im Bauwesen unter der Berücksichtigung von Lean-Prinzipien - Entwicklung eines Lean-Projektabwicklungssystems: Internationale Untersuchungen im Hinblick auf die Umsetzung und Anwendbarkeit in Deutschland	2011

AB HEFT 69 BEI KIT SCIENTIFIC PUBLISHING KARLSRUHE UNTER DEM TITEL KARLSRUHER REIHE TECHNOLOGIE UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB VERLEGT, ISSN 2363-8222

Heft 69	**KIM KIRCHBACH** Anwendung von Lean-Prinzipien im Erdbau – Entwicklung eines Baustellenleitstands auf Basis von Virtual Reality	2015
Heft 70	**PATRICK KERN** Elastomerreibung und Kraftübertragung beim Abscheren von aktiv betriebenen Vakuumgreifern auf rauen Oberflächen	2017
Heft 71	**GERNOT HICKETHIER** Communication Structures in the Design Phase of Lean Project Delivery	2019
Heft 72	**AHLAM MOHAMAD** Managing the Potential of Modularization and Standardization of MEP Systems in Buildings. Guidelines for improvement based on lean principles	2019
Heft 73	**MICHAEL DENZER** Entwicklung eines Kooperationsmodells für die Transportlogistik im Baustoff-Fachhandel	2019
Heft 74	**MAXIMILIAN DEUBEL** Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Building Information Modeling (BIM) in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten	2021

Die Bände sind unter www.ksp.kit.edu als PDF frei verfügbar oder als Druckausgabe bestellbar.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE
UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno
Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes

BIM wird als Chance gesehen, Bauprojekte verlässlicher fertigzustellen. Gleichzeitig werden verschiedene Herausforderungen diskutiert, die die Einführung erschweren. Bisher weniger im Fokus steht die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von BIM selbst. Ziel ist es daher, Aufwendungen und Nutzen von BIM bestimmbar zu machen. Dazu werden 36 BIM-Anwendungsfälle (AWF) als Ausgangsbasis zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit vorgestellt. Die Eingangsgrößen bilden Implementierungs- und Anwendungsaufwand der jeweiligen AWF. Aus der Anwendung entstehen verschiedene Nutzen, die beschrieben sowie um geeignete Indikatoren und Metriken zur Messung ergänzt werden. Zusätzlich werden die Abhängigkeiten der einzelnen AWF untereinander erarbeitet. Im Ergebnis erhalten BIM-Anwender eine Hilfestellung, welche AWF sie wann anwenden können, und es wird möglich, Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einzelner AWF und in Summe über BIM zu erhalten.



ISSN 2363-8222 | ISBN 978-3-7315-1034-5

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier